Heath's Modern Language Series

POPULÄRE VORTRÄGE

BY

HERMANN VON HELMHOLTZ

SELECTED AND EDITED WITH NOTES AND VOCABULARY

BY

DANIEL BUSSIER SHUMWAY, PH.D.
ASSISTANT PROFESSOR OF THE GERMANIC LANGUAGES AND LITERATURES IN THE UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA

D. C. HEATH & CO., PUBLISHERS
BOSTON NEW YORK CHICAGO

PREFACE

This book has been edited to meet the ever increasing demand for texts in Scientific German. For this purpose the popular lectures of HERMANN VON HELMHOLTZ have been chosen, as they represent in many respects the high-water mark of popular scientific lecturing in Germany. The subject matter is interesting, the presentation masterly and the style faultless. As it was impossible to edit all, the following four lectures have been selected. In making this selection the editor has been guided by the twofold desire to present a variety of subjects and to keep the book within reasonable bounds. Brief lectures, giving a comprehensive survey of the subject in hand have been preferred to those going more into details. Thus the lecture, *Über das Sehen des Menschen*, covers the field embraced by the three lectures, *der optische Apparat des Auges*, *die Gesichtsempfindungen* and *die Gesichtswahrnehmungen;* the selection, *Über die Wechselwirkung der Naturkräfte*, includes the astronomical remarks presented in the address, *Über das Ziel und die Fortschritte der Naturwissenschaft.* The text is based upon the fifth edition, Braunschweig, 1903, of Helmholtz's *Vorträge und Reden*, with the kind permission of the publishers, Vieweg und Sohn. A few passages have been omitted in order to secure the necessary brevity, and the orthography made to conform to the latest German norm.

As the book is intended for intermediate Scientific German reading, the vocabulary has been made quite full and includes not only technical words but long compounds not found in the average school dictionary and such as are capable of different meanings, and therefore liable to be misunderstood by the student. When a word has been introduced into the vocabulary, this fact is indicated by a ° in most cases of its recurrence. The notes have been added not only to explain difficult constructions and unusual words, but also to meet the needs of the busy teacher who generally has not the time to look up the various literary and scientific allusions in the text.

Finally the editor wishes to acknowledge his debt of gratitude for valuable help in making the vocabulary and notes scientifically accurate to his colleagues, E. G. Conklin, professor of Zoölogy, A. W. Goodspeed, professor of physics, W. R. Newbold, professor of philosophy, E. A. Shumway, M.D., instructor of ophthalmology, and to Edward Wesselhoeft, instructor in German, who kindly read the manuscript and offered helpful suggestions.

DANIEL B. SHUMWAY.

UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA.
June, 1904.

INTRODUCTION

HERMANN VON HELMHOLTZ, one of the greatest scientists of the nineteenth century, was born August 31st, 1821, at Potsdam, near Berlin. His father, Ferdinand Helmholtz, was a professor of philology and philosophy in the *Gymnasium* of the town and a man of high culture and keen intellect who carefully watched over the education of his gifted son. During the first seven years of his life Hermann was a sickly child, often confined to his room and bed, but possessed of a lively desire for mental activity. As he grew older he showed an aptitude for committing poetry to memory, and his father therefore fostered this talent by introducing him to his own favorite poets and encouraging him to commit long passages from their works.

His predilection for physics showed itself early, for as a boy he constructed optical apparatus by means of spectacle lenses and a small botanical glass which his father possessed. During the reading in school of Virgil and Cicero, who, he tells us, bored him excessively, he often busied himself with calculating the path of light rays through a telescope, and thus discovered optical laws not found in the text-books of the times, but which stood him in good stead in his later experiments. He read with avidity the few scientific books in his father's library which were, however, old-fashioned, as he puts it, and in which the antiquated philogiston theory still played a prominent part. Chemical experiments were also tried, but with little result, except to make him well acquainted with the effect of acids on his mother's stores of linen. Under the strict training of his

father, who taught German literature and composition to the upper classes of the *Gymnasium* he was obliged to express his thoughts alternately in prose and verse, — a method which he gratefully remembered as teaching him to cultivate a varied expression of thought and which contributed, no doubt, to the brilliancy of his style.

After graduating with honor from the *Gymnasium* the question of a profession naturally arose. Helmholtz's inclinations pointed towards physics, but as the family were only in moderate circumstances his father urged him to take up medicine as being more likely to procure him a livelihood. This the young man consented to do, and through the aid of an uncle, the surgeon-general Mursinna, he obtained a scholarship in a military institute, and was thus enabled to complete his education at little or no cost to his parents. He attended the lectures at the university of Berlin, where he came under the inspiring influence of such eminent scientists as Johannes Müller and Gustav Magnus, the former of whom was the greatest biologist of his time. Together with his fellow students, many of whom were destined to become famous physicists, such as Du Bois Reymond, Brücke, Tyndall, Kirchhoff, Clausius, Werner Siemens and Wiedemann, Helmholtz founded the Physical Society, which met for the free discussion of scientific papers. In 1842, when but twenty-one he graduated in medicine, presenting a thesis entitled, *De Fabrica systematis nervosi Evertebratorum*, in which he made the important discovery of the intimate connection existing between the ganglia or nerve cells and the nerve fibres.

In accordance with the agreement to which he had bound himself in accepting a scholarship in the military institute, he settled as an army surgeon in Potsdam, and for a number of years conscientiously fulfilled the duties of this position. Coming under the observation of Alexander von Humboldt, who soon recognized his ability, the young physician received the position of assistant in the Anatomical Museum and of

lecturer on anatomy in the Academy of Arts. This relieved him of the routine work in the army and enabled him to devote more time to his favorite science. From this time on his rise was rapid. In 1849 he was called to the university of Königsberg in East Prussia, as professor of physiology, and in 1855 to the chair of anatomy and physiology in Bonn. Two years later he became professor of physiology at Heidelberg where he spent thirteen happy years full of busy work, interspersed with long rambles through the beautiful scenery of the Neckar. When Magnus died in 1871 Helmholtz was chosen to fill his chair in Berlin, and became thereby the leading physicist of Germany. In 1888 he was made head director of the new physico-technical school in Charlottenburg founded by his friend and fellow-scientist, Werner Siemens. In spite of the onerous duties of this position he did not surrender his professorship but continued to lecture until his death, which occurred on September 8th, 1894, a few days after his seventy-third birthday. The celebration of his seventieth birthday was made an event of international importance. The Emperor of Germany, the Kings of Sweden and Italy, the Grand Duke of Baden and the President of the French Republic bestowed decorations upon him, and scientific societies the world over united in doing him honor.

It is no exaggeration to say that no other scientist of the nineteenth century exerted as great an influence on so many departments of science as did Helmholtz. He combined in rare measure the quality of accurate observation and a complete mastery of mathematics on the one hand, with a remarkable talent for invention and a philosophical turn of mind on the other, which led him to attack fundamental questions, and resulted in making his researches epoch-making in several fields of natural science. His energy was untiring. Every year saw at least one important scientific paper appear from his pen, and more frequently the number amounted to four or five, so that at the end of his career he could look back upon no less

than 217 distinct contributions to science. Most of these were the outcome of long and patient investigation, and, as he himself tells us, were often rewritten and recast five or six times before their critical author was ready to submit them to the judgment of the world.

At the very beginning of his career, when but a young man of twenty-six, he presented to the Physical Society of Berlin (July 23rd, 1847), his epoch-making paper on the Conservation of Energy *(Über die Erhaltung der Kraft)*, which set the whole scientific world agog and made its youthful author over night a famous man. In this study he proved mathematically that energy is indestructible; that in passing from one state to another the sum total of the kinetic and potential energies of a system of forces remains unchanged. As the result of this paper he must be considered with Mayer, Colding, Joule, and Lord Kelvin, all of whom pursued their investigations more or less independently, as one of the founders of the modern mechanical theory of heat.

He commenced his career in physiology by the solution of fundamental problems, proving by experiment that in the movements of muscles chemical forces are at work, which result in the generation of heat. This view had already been advanced by Becquerel, but it remained for Helmholtz to furnish a convincing proof. In 1850, soon after his call to Königsberg, he successfully measured the rate of the nervous impulse, first in frogs and then in human beings. Johannes Müller had despaired of ever solving this problem, because of the extreme rapidity of the impulse which he compared to the velocity of light. All difficulties, however, vanished before the ingenuity of Helmholtz who accurately recorded the exact time of the impulse by means of the myograph or muscle-writer invented by him for the purpose.

A visit to the Alps resulted in his taking up and investigating the theory of the formation of glaciers. Starting with Thomson's theory of latent heat he applied it successfully to

the formation of glacial ice which he succeeded in producing artificially and the granular character of which he clearly recognized. He investigated likewise the principles of cloud formation, and by brilliant mathematical reasoning worked out the theory of vortex rings in liquids (1858). Beginning with 1870 Helmholtz published a series of important papers on the theory of electro-dynamics, treating the questions of the origin of electric currents, of the galvanic polarization of liquids, of the electrolysis of water and a number of others. But it was in the department of the physiology of the senses that Helmholtz was the undisputed master, and it is for his revolutionary discoveries in this field that he will be longest remembered. His invention of the ophthalmoscope *(Augenspiegel)* which enables one to observe the retina of the eye, made possible the present high development of the science of ophthalmology. He showed clearly how the eye accommodated itself to distance by changing the shape of the lense, and traced the development of our conception of space proving that it was not intuitive, as Kant had believed, but that it was the result of long experience based on the stereoscopic effect of vision with two eyes. In connection with this he also solved the problem of single vision with two eyes, developing the theory of corresponding points. He founded the modern theory of color sensations by reviving an almost forgotten theory of the English physicist, Thomas Young, based upon the three simple colors, red, green and violet, and developing it on independent lines. In this connection he investigated the cause of color blindness and the laws of the refraction of light from spherical surfaces. His work on physiological optics (*Handbuch der physiologischen Optik*, 1856–66; 3rd. ed., 1894), in which he collected and published the results of his experiments in this field, is one of the greatest scientific books of the nineteenth century.

Of equal importance are his investigations on the subject of tone sensations and the theory of hearing which he gave to the world in his fundamental work, *Die Lehre von der Tonemp-*

findung als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik. Here he showed that a musical sound was not as a rule simple, but complex; and that in the *cochlea* of the inner ear we possess a most delicate instrument which, like a piano, was capable of analyzing the most complex sound waves in accordance with the principle of sympathetic vibrations. Helmholtz was also the first to explain satisfactorily the mechanism of the ossicles of the outer ear and of the tympanum in his pamphlet, *Die Mechanik der Gehörknöchelchen und des Trommelfells*, 1869. Himself a fine musician and possessed of an accurate ear, he investigated successfully the cause of discord and harmony and of beating in music and developed the accepted theory of sound-waves and of partials or over-tones. He likewise gave the first correct explanation of the action of organ pipes and other musical instruments in producing sounds, and investigated the timbre of the human voice.

Helmholtz was one of the first to write and deliver popular scientific lectures in Germany, recognizing that the scientist owed a duty to the educated world at large and not merely to his own profession. Written with great care in really classical German and free from all abstruseness, his popular lectures have justly been considered by one of his biographers as reaching the high-water mark in this class of literature. Apart from those based upon his own scientific discoveries, most of which have been already mentioned in the preface, one in which he treats of Goethe's scientific activity (*Über Goethes naturwissenschaftliche Arbeiten*), and which has been edited for American schools by Professor Seidensticker, is especially worthy of note. With the utmost delicacy, but none the less clearly, Helmholtz points out that the poetic bias of Goethe's mind led him to lay too much stress upon intuition, made him impatient of slow, plodding research and mathematical calculations, and thus unfitted him for scientific investigation in the strictest sense of the word.

Like most great men Helmholtz was exceedingly modest

and entirely free from any feeling of intellectual arrogance (*Grössenwahn*, as he aptly puts it), which is too often the fault of scholars. No one was a more unsparing critic of his work than he himself. His thirst for knowledge combined, although at first not always consciously, he confesses, with a desire to advance the interests of mankind impelled him to use all the time he could spare from his preparation for university lectures and from the care for his family (he was twice happily married) for scientific research, even at an age when other men who have won recognition for themselves cease to work and rest on their laurels. As he grew older and saw how the seeds of thought he had sown in the minds of his pupils were taking root and developing along independent lines, a feeling of the shortness of the individual life in contrast to the whole development of humanity came over him. He felt that he was a soldier fighting in a holy cause, the extension of science, and this feeling consecrated his work and gave it a higher meaning. No wonder that a man with such high ideals was able to inspire the youth of all lands who flocked to hear him, and to contribute more to the development of physical science than any other man of his age.

EIS UND GLETSCHER

Vorlesung gehalten in Heidelberg und in Frankfurt a. M.

Hochgeehrte Versammlung! Die Welt des Eises und des ewigen Schnees, wie sie sich auf den Gipfeln der benachbarten Alpenkette° entfaltet, so starr, so einsam, so gefahrvoll sie auch[1] sein mag, hat ihren ganz besonderen Zauber. Sie fesselt nicht nur die Aufmerksamkeit des Naturforschers, der in ihr die wunderbarsten Aufschlüsse° über die vergangene und die jetzige Geschichte des Erdballs findet; sie lockt auch in jedem Sommer tausende von Reisenden aus allen Ständen herbei, die in ihr geistige und körperliche Erfrischung suchen. Während sich die einen damit begnügen, von ferne den blendenden Schmuck zu bewundern, den die reinen Lichtmassen schneeiger Gipfel, eingeschaltet° zwischen das tiefe Blau des Himmels und das saftige° Grün der Matten,° der Landschaft verleihen, dringen andere kühner vor in die fremdartige Welt, den äussersten Graden von Anstrengung und Gefahr sich willig unterziehend, um sich am Anblick dieser Erhabenheit zu sättigen.°

Ich will nicht versuchen, was so oft schon vergebens versucht worden ist, Ihnen mit Worten die Schönheit und Grossartigkeit der Natur auszumalen, deren Anblick

den Alpenwanderer entzückt. Ich darf ja wohl voraussetzen, dass sie den meisten von Ihnen aus eigener Anschauung[1] bekannt ist. Aber ich meine, dass die Freude und das Interesse an der Erhabenheit jener Szenen Sie
5 um so geneigter machen wird, auch den sehr merkwürdigen Ergebnissen der neueren Naturforschung über die hervorragendsten Erscheinungen° der Eiswelt ein williges Ohr zu leihen. Da zeigen sich kleine Eigentümlichkeiten des Eises, deren Erwähnung Ihnen unter andern
10 Umständen vielleicht als eine wissenschaftliche Spitzfindigkeit° erscheinen würde, als Ursachen der wichtigsten Vorgänge in den Gletschern. Unförmliche° Steinblöcke° beginnen dem aufmerksamen Beobachter ihre Geschichte zu erzählen, eine Geschichte, die weit über
15 die Vergangenheit des Menschengeschlechts hinausreicht in das Dunkel der Urzeit. Ruhiges, gesetzmässiges und segensreiches Walten[2] ungeheurer Naturkräfte wird da offenbar, wo beim ersten Anblick sich nur Wüsten zeigen, entweder unabsehbar hingestreckt in
20 trostloser° öder Einsamkeit oder voll wilder gefahrdrohender Verwirrung, ein Tummelplatz° zerstörender Gewalten. Und so glaube ich Ihnen versprechen zu dürfen, dass das Studium des Zusammenhanges jener Erscheinungen, wovon ich heute allerdings nur einen
25 kurzen Abriss geben kann, Ihnen nicht nur eine prosaische Belehrung gewähren, sondern auch Ihre Freude an den grossartigen Szenen des Hochgebirges° lebhafter, Ihr Interesse reicher und Ihre Bewunderung grösser machen wird.

30 Lassen Sie mich Ihnen zuerst die Hauptzüge der

äusseren Erscheinung der Schneefelder und Gletscher des Hochgebirges in das Gedächtnis zurückrufen und ergänzend hinzufügen, was genauere Messungen zur Beobachtung beigetragen haben, ehe ich zur Erörterung des ursächlichen Zusammenhanges jener Vorgänge übergehe.

Je höher wir an den Bergen hinaufsteigen, desto kälter wird es. Unsere Atmosphäre ist wie eine wärmende Decke über die Erde hingebreitet; sie ist für die leuchtenden Wärmestrahlen° der Sonne fast vollkommen durchsichtig und lässt diese ohne merkliche Hinderung herein. Aber die Atmosphäre ist nicht ebenso durchgängig° für die dunklen Wärmestrahlen, welche, von den erwärmten irdischen Körpern ausgehend, wieder in den Weltraum zurückstreben. Diese werden von der atmosphärischen Luft verschluckt, namentlich da, wo sie feucht ist; dadurch wird die Luftmasse selbst erwärmt, und sie gibt die gewonnene Wärme nur langsam, in der Richtung nach dem freien Weltraum hin,[1] wieder ab. Die Ausgabe der Wärme ist also verzögert im Verhältnis zur Einnahme, und dadurch wird ein gewisser Wärmevorrat längs der Erdoberfläche festgehalten. Über hohen Gebirgen aber ist die schützende Decke der Atmosphäre viel dünner; dort kann die ausstrahlende Wärme des Erdbodens viel schneller in den Weltraum zurück entweichen; dort ist also auch der aufgespeicherte Wärmevorrat geringer und die Temperatur viel niedriger als in der Tiefe.[2]

Dazu kommt noch eine andere in demselben Sinne wirkende Eigentümlichkeit[3] der Luft. In einer Luft-

masse, welche sich ausdehnt, verschwindet ein Teil ihres Wärmevorrates; die Luft wird kühler, wenn sie nicht neue Wärme von aussen aufnehmen kann. Umgekehrt° wird durch erneutes Zusammendrücken der Luft dieselbe Wärmemenge wieder erzeugt, welche durch die Ausdehnung verschwunden war. Wenn z. B.[1] die warme Luft des Mittelmeeres° durch den Südwind nach Norden getrieben und gezwungen wird, zur Höhe des grossen Gebirgswalles° der Alpen hinaufzusteigen, so wird sie sich hier, entsprechend dem geringeren, durch das Barometer angezeigten[2] Luftdruck, etwa um die Hälfte ihres Volumens ausdehnen, und sich dabei sehr beträchtlich — für eine mittlere Höhe des Gebirges von 11000 Fuss um 16 bis 25° R.,[3] je nachdem sie feucht oder trocken ist — abkühlen und gleichzeitig den grösseren Teil ihrer Feuchtigkeit als Regen oder Schnee absetzen. Kommt dieselbe Luft nachher auf der Nordseite des Gebirges als Föhnwind[4] wieder in die Täler und Ebenen hinab, so wird sie wieder verdichtet und erwärmt sich auch wieder. Derselbe Luftstrom also, der in den Ebenen diesseits und jenseits des Gebirges warm ist, kann auf der Höhe schneidend kalt sein und dort Schnee absetzen, während wir ihn in der Ebene unerträglich heiss finden.

Die Temperaturabnahme° nach der Höhe hin, welche durch diese beiden Ursachen bedingt wird, ist bekanntlich schon an den niedrigeren Bergketten unserer Nachbarschaft sehr merklich. Sie beträgt im mittleren Europa etwa 1 Grad Réaumur[5] im Sommer auf 600 Fuss, im Winter auf 900 Fuss Steigung. In den Alpen werden

die Temperaturunterschiede, der grösseren Höhe entsprechend, viel bedeutender, so dass auf den höheren Gipfeln und Abhängen der im Winter gefallene Schnee während des ganzen Sommers nicht mehr abschmilzt. Man nennt bekanntlich die Linie, oberhalb deren der 5 Schnee während des ganzen Jahres den Boden bedeckt, die Schneegrenze.° Sie liegt an der Nordseite der Alpen etwa in der Höhe von 8000 Fuss, an der Südseite in der Höhe von 8800 Fuss. Auch oberhalb der Schneegrenze kann es an sonnigen Tagen sehr warm sein; ja, 10 die ungeschwächte Strahlung der Sonne, noch verstärkt durch das vom Schnee zurückgeworfene Licht, wird hier oft ganz unleidlich. Anmutige Zeugen für die Stärke des Sonnenscheins sind die gesättigten° Farben und der starke Duft der kleinen Alpenblümchen, die in geschütz- 15 ten Felsspalten zwischen den Schneefeldern erblühen. Trotz der starken Strahlung der Sonne steigt die Temperatur der Luft über den Schneefeldern nur bis 5^0, höchstens 8^0 R.;[1] diese genügt jedoch, um einen ziemlichen Teil der oberflächlichen Schneeschichten zu 20 schmelzen. Aber die warmen Stunden und Tage sind zu kurz, um die grossen Schneemassen, welche während der kühleren Zeiten gefallen sind, zu bewältigen. Die Höhe der Schneegrenze ist deshalb nicht allein von der Temperatur der Gebirgsabhänge, sondern wesentlich 25 auch von der Menge des jährlichen Schneefalles abhängig. Sie liegt z. B. im Himalaya auf dem feuchtwarmen Südabhange tiefer als auf dem viel kälteren, aber auch viel trockneren Nordabhange desselben Gebirges. Entsprechend dem feuchten Klima des westlichen Europa 30

ist der Schneefall auf den Alpen sehr gross, und deshalb ist hier auch die Zahl und Ausdehnung der Gletscher verhältnismässig bedeutend, sodass wenige Gebirge der Erde in dieser Beziehung mit ihnen verglichen werden können. Eine ähnliche Ausbildung der Eiswelt finden wir, soweit bekannt ist, nur noch auf dem Himalayagebirge, dort begünstigt durch die grössere Höhe, auf Grönland° und im nördlichen Norwegen° wegen des kälteren Klimas, auf einigen Inseln, wie Island° und Neuseeland,° wegen der grösseren Feuchtigkeit.

Die Gebiete oberhalb der Schneegrenze sind also dadurch charakterisiert, dass der Schnee, welcher im Laufe des Jahres auf sie niederfällt, während des Sommers nicht ganz wegschmilzt, sondern zum Teil liegen bleibt. Dieser zurückgelassene Schnee wird vor weiterer Einwirkung der Sonnenwärme geschützt durch neue Schneemassen, welche der nächste Herbst, Winter und Frühling über ihn ausschütten. Auch von diesem neuen Schnee lässt der nächste Sommer einen Rest übrig, und so häufen sich Jahr auf Jahr neue Schneeschichten übereinander. Wo eine solche Schneeanhäufung an einem jähen Absturze endet und ihr inneres Gefüge freigelegt ist, erkennt man die regelmässig übereinander gelagerten Jahresschichten.[1]

Es ist aber klar, dass diese Aufhäufung von Schneeschichten nicht in das Unendliche[2] fortgehen kann, sonst müsste die Höhe der Schneegipfel Jahr für Jahr wachsen. Je mehr der Schnee sich auftürmt, desto steiler werden seine Abhänge, desto grösser das Gewicht, welches die unteren Schichten belastet und

welches diese fortzudrängen strebt. Schliesslich entsteht auf den geneigten Abhängen des Gebirges ein Zustand, bei welchem die Schneefläche zu steil wird, als dass[1] neuer Schnee auf ihr liegen bleiben könnte, und bei welchem die Last, welche die unteren Schichten 5 abwärts drängt, zu gross ist, als dass diese sich in ihrer Lage erhalten könnten. So wird also ein Teil des Schnees, der oberhalb der Schneegrenze gefallen und dort vor Schmelzung geschützt ist, gezwungen werden, seine ursprüngliche Lagerungsstätte° zu verlassen und 10 sich einen neuen Platz zu suchen. Diesen findet er jetzt unterhalb der Schneegrenze, auf tiefer gelegenen Gebirgsabhängen und namentlich in den Tälern. Hier aber, dem Einflusse einer wärmeren Luft ausgesetzt, schmilzt er endlich und fliesst als Wasser davon. Die 15 Herabbewegung der Schneemassen von ihren ursprünglichen Lagerungsstätten geschieht zuweilen plötzlich, in Gestalt von Lawinenstürzen,° gewöhnlich aber sehr allmählich in Form von Gletschern.

Demgemäss haben wir zwei verschiedene Teile der 20 Eisfelder zu unterscheiden. Erstens den ursprünglich gefallenen Schnee — in der Schweiz Firn[2] genannt — oberhalb der Schneegrenze, die Abhänge der Gipfel bedeckend, soweit er an ihnen haften kann, und die oberen weiten kesselförmigen Enden der Täler mit Schnee- 25 feldern oder Firnmeeren ausfüllend. Zweitens haben wir die Gletscher — in Tirol[3] Ferner genannt — welche als Verlängerungen der Firnmeere nach unten oft 4000 bis 5000 Fuss unter die Schneegrenze hinabreichen und in denen der lockere Schnee der Firnmeere, 30

in durchsichtiges festes Eis verwandelt, sich wiederfindet. Daher der Name Gletscher, vom lateinischen *glacies*, französisch *glace*, *glacier*, abstammend.

Schon Goethe[1] hat die äussere Erscheinung der
5 Gletscher mit Strömen von Eis verglichen. Von den Firnmeeren ziehen sie sich durch die Tiefe der herabsteigenden Täler hin und füllen diese in ganzer Breite und oft bis zu ziemlicher Höhe mit Eis. Sie folgen dabei allen Krümmungen, Windungen, Verengungen und
10 Erweiterungen des Tales. Häufig stossen zwei Gletscher zusammen, deren Täler sich vereinigen. Dann vereinigen sich auch die beiden Eisströme zu einem gemeinsamen Hauptstrom, der das gemeinsame Tal füllt. An vielen Stellen zeigen diese Eisströme eine ziemlich
15 ebene und zusammenhängende Oberfläche, meistens aber sind sie von Spalten durchzogen.° Über die Oberfläche wie durch die Spalten rieseln unzählige grosse und kleine, durch Schmelzung des Eises gebildete Wasseradern, welche, zu einem Bache vereinigt, am unteren
20 Ende der grösseren Gletscher durch ein hohes, gewölbtes und herrlich blaues Eistor hervorbrechen.

Auf der Oberfläche des Eises pflegt eine grosse Menge von Steinblöcken und Schutt zu liegen, die sich namentlich längs der Seitenränder und am unteren Ende der
25 Gletscher zu mächtigen Steinwällen, den sogenannten Seiten- und Endmoränen[2] des Gletschers, auftürmen. Andere Steinwälle, Mittelmoränen oder Gufferlinien genannt, ziehen sich als dunkle, lange und regelmässige Streifen in der Mitte der Gletscher in Richtung
30 ihrer Länge hin. Sie laufen stets von solchen Punkten

aus,° wo zwei zusammentreffende Gletscherströme sich vereinigen. Die Mittelmoränen sind an solchen Stellen die Fortsetzungen der vereinigten Seitenmoränen der beiden Gletscher.

Die Bildung der Mittelmoränen wird sehr anschaulich 5 auf beifolgender Ansicht des Unteraargletschers[1] (Fig. 1).

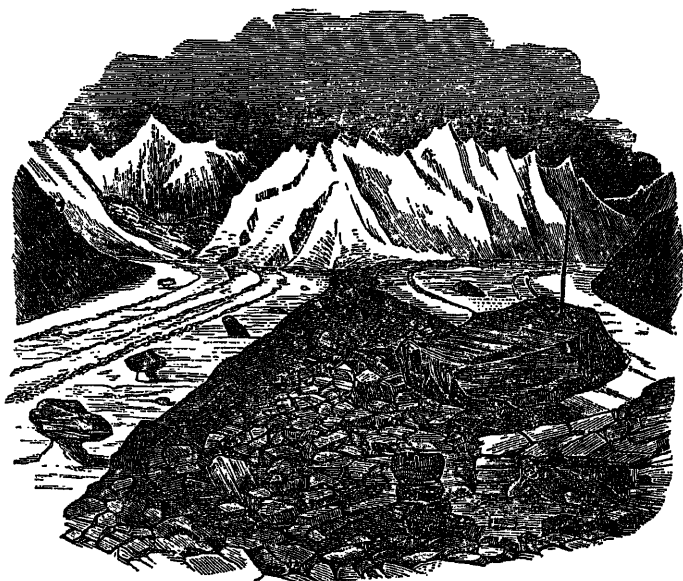



Fig. 1.

Im Hintergrunde sieht man zwei aus verschiedenen Tälern, rechts vom Schreckhorn,[2] links vom Finsteraarhorn,[3] herkommende Gletscherströme. Von ihrer Vereinigungsstelle zieht sich ein Steinwall als Mittel- 10 moräne herab. Links sieht man einzelne grosse Stein-

blöcke auf Eispfeilern getragen, es sind dies die sogenannten Gletschertische.[1]

Das Eismeer von Chamouni[2] ist bekanntlich, seiner Masse nach, der grösste unter den Gletschern der Schweiz,° obgleich es vom Aletschgletscher[3] an Länge übertroffen wird. Es sammelt sich von den Schneefeldern der unmittelbar nördlich vom Montblanc gelegenen Berge, von denen mehrere nur 2000 bis 3000 Fuss hinter jenem König der europäischen Berge zurückbleiben. Die Schneefelder an den Abhängen der Berge und in den Talkesseln° zwischen denselben sammeln sich in die drei Hauptströme, Glacier du Géant,[4] Glacier de Léchaud und Glacier du Talèfre, welche, schliesslich zusammenfliessend, das Eismeer bilden. Letzteres zieht als ein 2600 bis 3000 Fuss breiter Eisstrom in das Tal von Chamouni hinab, wo aus seinem unteren Ende ein starker Bach, der Arveyron,[5] hervorbricht und sich in die Arve[6] ergiesst. Der unterste Absturz des Eismeeres, der, vom Tale von Chamouni aus sichtbar, eine gewaltige Eiskaskade bildet, wird Glacier des Bois[7] genannt, nach einem darunter liegenden Dörfchen.

Am Ende einer verticalen Felswand des Tacul[8] schiebt sich der Rand des Glacier du Géant als senkrechte 140 Fuss hohe Eiswand hervor. Dadurch ist die Tiefe eines der oberen Arme des Gletschers am Rande gegeben. In der Mitte und nach der Vereinigung der drei Gletscher muss die Tiefe viel erheblicher sein. Etwas unterhalb der Vereinigungsstelle sondierten Tyndall[9] und Hirst bis 160 Fuss Tiefe in einem Moulin,[10] d. h.[11] in einer Höhlung, durch welche die oberflächlichen Glet-

scherwasser in die Tiefe strömen; die Führer behaupteten, in einer ähnlichen Öffnung bis zu 350 Fuss Tiefe sondiert zu haben; aber in keinem der Fälle wurde der Boden des Gletschers erreicht. Es erscheint auch bei der gewöhnlich tief mulden-° oder spaltenartigen Boden- 5 form der nur von Felswänden gebildeten Täler höchst unwahrscheinlich, dass auf 3000 Fuss Breite die mittlere Tiefe des Eisstromes nur 350 Fuss betragen solle, sowie auch die Bewegungsweise des Eises das Vorhandensein einer sehr mächtigen zusammenhängenden Eisschicht 10 unter dem gespaltenen Teile des Eises erfordert.

Die Oberfläche der meisten Gletscher ist ziemlich schmutzig von den vielen daraufliegenden Steinchen, die sich immer mehr zusammen drängen, je mehr das Eis unter und zwischen ihnen abschmilzt. Das Eis der 15 Oberfläche wird durch Schmelzung bald zerstört und bröckelig. In der Tiefe der Spalten aber zeigt es in seiner Reinheit und Klarheit ein prachtvolles Blau. Spalten, in denen das reine Eis des Inneren sichtbar wird, kommen in jeder Grösse vor; sie entstehen als 20 schmale Risse, erweitern sich allmählich zu Schlünden, die viele hundert oder selbst tausend Fuss lang, zwanzig, fünfzig, selbst hundert Fuss breit und zum Teil unabsehbar tief sind. Ihre verticalen, tiefblauen, von herabträufelndem Wasser feuchtglänzenden Wände aus 25 krystallklarem Eise bilden eines der schönsten Schauspiele, welches die Natur uns darbietet; aber freilich ein Schauspiel, das mit dem aufregenden Interesse der Gefahr stark gewürzt ist.

Nicht überall sind die Gletscher gespalten. Da, wo 30

das Eis gegen ein Hindernis andrängt, ebenso in der Mitte grosser, sich gleichmässig hinziehender Gletscherströme ist die Oberfläche ganz zusammenhängend. Die grösste Zerrissenheit der Gletscherfläche finden wir an 5 solchen Stellen, wo der Gletscher von einer wenig geneigten Stelle seines Bettes auf eine stärker geneigte übergeht. Dort zerreisst das Eis nach allen Richtungen in eine Menge einzelner Blöcke, die durch Abschmelzen in sonderbar geformte spitze Riffe und Pyramiden ver- 10 wandelt werden, und die von Zeit zu Zeit mit mächtigem Gepolter in die dazwischen liegenden Spalten hinabstürzen. Von Weitem sieht eine solche Stelle wie ein wilder gefrorener Wasserfall aus und wird deshalb auch Kaskade genannt.

15 Wir haben bisher die Gletscher ihrer äusseren Form und Erscheinung nach mit einem Strome verglichen. Diese Ähnlichkeit ist aber nicht nur eine äusserliche, sondern das Eis des Gletschers bewegt sich in der Tat vorwärts, ähnlich wie das Wasser in einem Strome, nur 20 langsamer. Dass dies geschehen müsse, geht schon aus den Betrachtungen hervor, durch die ich Ihnen die Entstehung eines Gletschers zu erläutern versuchte. Da sein unteres Ende durch Schmelzung fortdauernd vermindert wird, so müsste das Eis bald ganz schwinden, 25 wenn nicht fortdauernd neue Massen von oben her nachrückten, und diese durch die Schneefälle auf den Firnmeeren° immer wieder neu ergänzt würden.

Aber wir können uns von der Bewegung der Gletscher bei sorgfältiger Beobachtung auch durch das Auge über- 30 zeugen. Zuerst hat sie[1] sich den Bewohnern des Tales,

die solchen Gletscher immer vor Augen haben, ihn oft überschreiten und die, um ihren Weg zu finden, die grösseren auf ihm liegenden Steinblöcke als Merkzeichen benutzen, dadurch verraten, dass diese Wegzeichen im Laufe eines jeden Jahres merklich nach abwärts wandern. Da z. B. auf der unteren Hälfte des Eismeeres von Chamounix das jährliche Fortrücken 400 bis 600 Fuss beträgt, so mussten solche Verschiebungen bemerkt werden, trotz der Langsamkeit, mit der sie erfolgen, und trotz der chaotischen Verwirrung von Eisspalten und Steinmassen, die auf dem Gletscher herrscht. 5 10

Ausser den Steinen werden auch andere Gegenstände, welche zufällig auf den Gletscher geraten sind, mit fortgeschleppt. Im Jahre 1788 verbrachte der berühmte Genfer° Naturforscher Saussure[1] mit seinem Sohne und einer Karawane von Trägern und Führern sechzehn Tage auf dem Col du Géant[2]; beim Herabsteigen an den Felsen zur Seite der Kaskade des Glacier du Géant liessen sie eine hölzerne Leiter zurück. Es war die Stelle am Fusse der Aiguille Noire,[3] wo die vierte Gufferlinie° des Eismeeres beginnt; diese Linie bezeichnet gleichzeitig die Richtung, in welcher das Eis von dieser Stelle aus fortwandert. Im Jahre 1832, also 44 Jahre später, wurden Bruchstücke dieser Leiter durch Forbes[4] und andere Reisende unterhalb des Vereinigungspunktes der drei Gletscher des Eismeeres in der genannten Gufferlinie gefunden, woraus sich ergab, dass jene Teile des Gletschers in jedem Jahre durchschnittlich 375 Fuss abwärts gewandert waren. 15 20 25 30

Im jahre 1827 hatte sich Hugi[1] auf der Mittelmoräne° des Unter-Aargletschers[2] eine Hütte gebaut, um dort Beobachtungen anzustellen; die Lage dieser Hütte wurde von ihm selbst und später durch Agassiz[3]
5 von Neuem bestimmt; sie fand sich jedes Jahr weiter abwärts geschoben; 14 Jahre später, im Jahre 1841, stand sie 4884 Fuss tiefer, hatte also in jedem Jahre im Durchschnitt 349 Fuss zurückgelegt. Eine etwas geringere Bewegung fand Agassiz nachher an seiner
10 eigenen Hütte, die er auf demselben Gletscher errichtet hatte. Für die bisher erwähnten Beobachtungen war eine lange Zwischenzeit nötig. Verfolgt man aber die Bewegung der Gletscher mit genauen Messinstrumenten, z. B. mit Theodoliten,° so braucht man nicht Jahre zu
15 warten, sondern ein einziger Tag genügt, um die Bewegung des Eises zu erkennen.

Dergleichen Beobachtungen sind in neuerer Zeit, namentlich von Forbes und Tyndall, angestellt worden. Danach rückt die Mitte des Eismeeres im Sommer mit
20 einer Geschwindigkeit von 20 Zoll auf den Tag vor, die gegen die untere Endkaskade hin sich bis auf 35 Zoll täglich steigert. Im Winter ist die Geschwindigkeit etwa halb so gross. An den Seitenrändern des Gletschers und in seinen tieferen Schichten ist sie, wie bei
25 einem Wasserflusse, beträchtlich kleiner als in der Mitte seiner Oberfläche.

Auch die oberen Zuflüsse des Eismeeres haben eine geringere Bewegung; der Glacier du Géant rückt 13 Zoll, der Glacier du Léchaud 9½ Zoll täglich vor. Die Ge-
30 schwindigkeit ist überhaupt in verschiedenen Gletschern

sehr verschieden, je nach ihrer Grösse, ihrer Neigung, der Masse des Schneefalls und anderen Umständen.

Eine solche ungeheure Eismasse rückt also vor, ganz allmählich und leise, dem flüchtigen Beobachter nicht merklich, Stunde für Stunde etwa einen Zoll — 120 5 Jahre braucht das Eis des Col du Géant, um das untere Ende des Eismeeres zu erreichen —, aber dabei schreitet sie vorwärts mit einer unaufhaltsamen Gewalt, vor welcher Hindernisse, welche Menschen ihr entgegensetzen könnten, wie Strohhalme zerknicken, und von 10 der selbst die granitenen Felswände des Tales deutlich erkennbare Spuren an sich tragen. Wenn nach einer Reihe feuchter Jahre bei reichlichem Schneefall in der Höhe[1] das untere Ende eines Gletschers vorrückt, so zermalmt es nicht nur menschliche Wohnungen und 15 kräftige Baumstämme, sondern der Eisstrom schiebt auch die aus kolossalen Steinblöcken aufgetürmten Wälle seiner Endmoräne° vor sich her, ohne durch sie einen in Betracht kommenden Widerstand zu erfahren.[2]

Ein wahrhaft grossartiges Schauspiel diese Bewegung, 20 so leise, so stetig und so unwiderstehlich und gewaltig!

Erwähnt sei hier, dass aus der beschriebenen Bewegungsweise der Gletscher Ort und Richtung der Spaltenbildung sich leicht ergiebt. Da nämlich[3] nicht alle Schichten des Gletschers gleich schnell vorwärts schrei- 25 ten, so bleiben einige Punkte desselben gegen[4] andere zurück, z. B. die Ränder gegen die Mitte. Dadurch wächst fort und fort die Entfernung eines am Rande gelegenen Punktes von einem Punkte der Mitte, der anfangs mit ihm in gleicher Höhe lag, nachher aber sich 30

schneller abwärts bewegt; da das Eis zwischen je zwei solchen Punkten sich nicht ihrer wachsenden Entfernung entsprechend dehnen kann, zerreisst es und bildet Spalten, wie sie die in Fig. 2 gegebene Abbildung des Gor-
5 nergletschers[1] zeigt. Es würde zu weit führen, wollte

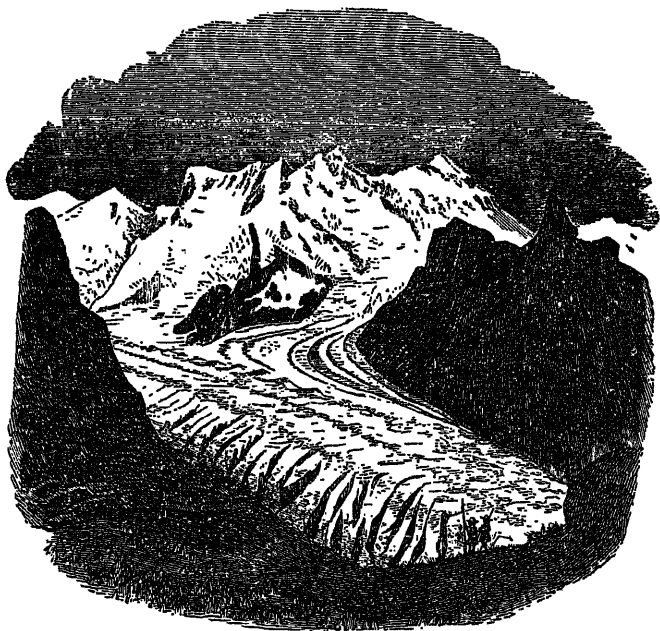



Fig. 2.

ich Ihnen die Bildung der einzelnen regelmässigeren Spaltensysteme erklären, wie sie sich an gewissen Stellen aller Gletscher zu entwickeln pflegen; es mag genügen zu erwähnen, dass die Folgerungen aus den
10 angegebenen Betrachtungen mit den Beobachtungen an den Gletschern übereinstimmen.

Noch will ich darauf aufmerksam machen, welche ausserordentlich kleinen Verschiebungen genügen, um hunderte von Spalten im Eise hervorzubringen. Eine kaum merkliche Änderung von 2 bis 4 Winkelgraden° in der Neigung der Oberfläche des Eises genügt, um ein System querlaufender° Spalten an der Oberfläche zu erzeugen. Tyndall hat hervorgehoben und durch Rechnungen und Messungen bestätigt, dass die Eismasse der Gletscher nicht im geringsten Masse nachgiebig gegen Dehnung ist, sondern dass sie unter dem Einflusse einer solchen stets auseinander reisst.

Auch die Verteilung der Steine auf der Oberfläche erklärt sich leicht, wenn wir die Bewegung der Gletscher berücksichtigen. Diese Steine sind Trümmer der Berge, zwischen denen der Gletscher fliesst. Abgesprengt, teils durch Verwitterung° des Gesteins, teils durch Gefrieren des Wassers in dessen Spalten, fallen sie, und zwar meist auf den Rand der Eismasse. Dort bleiben sie entweder auf der Oberfläche liegen, oder sie wühlen sich tief in den Schnee ein, kommen alsdann durch Abschmelzen der oberflächlichen Lagen° von Eis und Schnee wieder zu Tage und drängen sich schliesslich am unteren Ende des Gletschers zusammen, wo das Eis zwischen ihnen mehr und mehr geschwunden ist. Die Blöcke, welche vom Eis allmählich heruntergetragen werden, sind zum Teil von kolossaler Grösse.

Die Steinblöcke bewegen sich fort in Linien, welche einander sowie der Längsrichtung° des Gletschers nahehin parallel sind. Diejenigen also, welche in der Mitte des Eisstromes liegen, bleiben in der Mitte; diejenigen,

welche am Rande liegen, bleiben am Rande. Die letzteren sind die zahlreicheren, weil während des ganzen Laufes des Gletschers immer neue Steine auf den Rand, nicht aber auf die Mitte stürzen können. So bilden sich
5 auf dem Rande der Eismasse die Seitenmoränen,° deren Blöcke sich teils mit dem Eise bewegen, teils aber herabgleiten und auf dem festen Felsboden neben dem Eise liegen bleiben. Wenn zwei Gletscherströme sich vereinigen, kommen ihre zusammenstossenden Seitenmo-
10 ränen auf die Mitte des vereinigten Eisstromes zu liegen. Sie rücken auf diesem als Mittelmoräne, einander und den Ufern des Stromes parallel, vorwärts, und zeigen bis zum unteren Ende die Grenzlinie, welche das Eis des einen und des andern Gletscherarmes trennt. Solche
15 Grenzlinien sind sehr merkwürdig, weil sie zeigen, in welchen regelmässigen parallelen Bändern die einzelnen nebeneinander liegenden Teile des Eisstromes abwärts gleiten.

Auf dem Glacier du Géant und auf seiner Fortsetzung
20 im Eismeere zeichnen die auf der Oberfläche des Eises verstreuten Steine in abwechselnd graueren und weisseren Bändern eine Art von Jahresringen° des Eises ab, die zuerst von Forbes bemerkt wurden. Dadurch, dass in der Kaskade im Sommer mehr Eis herabgleitet als im
25 Winter, wird die Oberfläche des Gletschers unterhalb der Kaskade terrassenförmig, und da die nördlichen Abhänge dieser Terrassen weniger abschmelzen, als ihre oberen ebenen Flächen, so zeigen jene reineres Eis als diese. Nach Tyndall entstehen die Schmutzbänder°
30 auf diese Weise. Anfangs laufen sie ziemlich gestreckt

quer[1] über den Gletscher; da jedoch ihre Mitte schneller fortrückt als ihre Enden, so bekommen sie weiter unten eine bogenförmige Gestalt. So zeigen sie dem Beschauer durch ihre Krümmung unmittelbar die verschiedene Geschwindigkeit, mit der das Eis in verschiedenen 5 Stellen seines Stromlaufes vorrückt.

Eine besondere Rolle endlich spielen andere Steine, die in die untere Fläche der Eismasse eingebacken und teils durch Spalten hinab gestürzt, teils vom Boden des Tales losgelöst sind. Diese Steine werden mit dem Eise 10 allmählich über den Boden des Gletschertales hingeschoben und gleichzeitig durch die ungeheure Last des über ihnen ruhenden Eises gegen diesen Boden angepresst. Beide, der Felsboden und die Steine, sind von gleicher Härte und werden durch ihre gegenseitige Reibung zu 15 Staub zermalmt, mit einer Gewalt, gegen welche jede menschliche Kraftleistung° verschwindet. Das Produkt dieser Reibung ist ein äusserst feiner Steinstaub, der, vom Wasser fortgeschwemmt, unten im Gletscherbach zum Vorschein kommt und diesem ein trübes weissliches 20 oder gelbliches Aussehen verleiht. Die Felsen des Talbodens dagegen, an denen der Gletscher jahraus jahrein seine abreibende° Kraft ausübt, werden abgeschliffen, wie von einer ungeheuren Poliermaschine, und bleiben als glatte, rundliche Höcker° stehen. So sehen wir sie am 25 Rande jetzt bestehender Gletscher zum Vorschein kommen, wenn sich deren Eismasse nach einer Reihe heisser und trockener Jahre etwas zurückzieht; in viel grösserer Ausdehnung aber zeigen sich solche Reste alter riesiger Gletscher in den unteren Teilen vieler Alpentäler. Na- 30

mentlich im Tale der Aar[1] sind die hoch hinauf abgeschliffenen Felswände äusserst charakteristisch. Dort befinden sich auch die berühmten polierten Steinplatten, die nur durch eingehauene Vertiefungen gangbar gemacht werden konnten.

Neben diesen abgeschliffenen Felsen sind es auch alte Moränendämme° und fortgeschleppte Steinblöcke, welche die ungeheure frühere Ausdehnung der Gletscher erkennen lassen. Die durch Gletscher fortgetragenen Steinblöcke unterscheiden sich von den durch Wasser herabgewälzten Steinen durch ihre ungeheure Grösse, durch die vollkommene Erhaltung aller ihrer Ecken, die nicht abgerollt° sind, und namentlich dadurch, dass sie vom Gletscher genau in derselben Reihenfolge nebeneinander abgelagert werden, wie die Felsarten, denen sie entnommen sind, oben im Gebirgskamm anstehen,° während alle Steine, die durch Wasserströme fortgerollt sind, stets untereinander gemischt sind.

Gestützt auf diese Kennzeichen sind die Geologen imstande gewesen, nachzuweisen, dass die Gletscher von Chamounix, vom Monte Rosa,[2] vom Gotthard und den Berner Alpen ehemals durch die Täler der Arve, der Rhone, der Aare und des Rheins bis in den ebeneren Teil der Schweiz und bis zum Jura[3] vordrangen, wo sie ihre Blöcke in der Höhe von mehr als 1000 Fuss über den jetzigen Niveau° des Sees von Neufchatel[4] abgelagert haben. Ähnliche Spuren alter Gletscher findet man auf den Gebirgen der britischen Inseln und der skandinavischen Halbinsel.

Auch das Treibeis° der nordischen Meere ist Glet-

schereis. Es wird von den Gletschern Grönlands° in das Meer hineingeschoben, löst sich von der übrigen Eismasse der Gletscher los und schwimmt davon. In der Schweiz finden wir eine solche Treibeisbildung in kleinerem Masstabe auf dem Märjelensee,[1] in den 5 sich ein Teil der Eismassen des grossen Aletschgletschers[2] hineinschiebt. Steinblöcke, die im Treibeis liegen, können grosse Reisen über das Meer machen. Wahrscheinlich ist die ungeheure Zahl von Granitblöcken, welche sich in der norddeutschen Ebene finden, 10 und deren Granit den skandinavischen Gebirgen angehört, durch Treibeis hinübergetragen worden in derselben Zeitperiode, als die Gletscher der europäischen Gebirge eine so ungeheure Ausdehnung hatten.

Ich muss mich leider mit diesen wenigen Andeutun- 15 gen über die alte Geschichte der Gletscher begnügen und zu den Vorgängen in den jetzigen Gletschern zurückkehren.

Aus den Tatsachen, die ich Ihnen vorgeführt habe, ergibt sich, dass das Eis eines Gletschers langsam 20 fliesst, ähnlich dem Strome einer sehr zähflüssigen° Substanz, wie etwa Honig, Teer oder dicker Tonbrei.° Die Eismasse gleitet nicht nur einfach über den Boden hin, wie ein fester Körper, der einen Abhang hinabrutscht, sondern sie biegt sich und verschiebt[3] sich in 25 sich selbst; und obgleich sie dabei auch über den Boden des Tales hingleitet, so werden doch die Teile, welche Boden und Wände des Tales berühren, durch die starke Reibung sichtlich aufgehalten; dagegen bewegt sich die Mitte der Oberfläche des Gletschers, welche dem Boden 30

und den Wänden des Tales am fernsten ist, am schnellsten. Es waren zuerst Rendu,[1] ein savoyischer° Geistlicher, und der berühmte schottische° Naturforscher Forbes,[2] welche die Ähnlichkeit der Gletscher mit
5 dem Strome einer zähflüssigen Substanz hervorhoben.

Sie werden nun verwundert fragen: Wie ist es möglich, dass die sprödeste und zerbrechlichste aller bekannten festen Substanzen, das Eis, im Gletscher gleich einer zähflüssigen Masse fliesse? Sie werden vielleicht
10 geneigt sein, dies für eine der unnatürlichsten und abenteuerlichsten Behauptungen zu erklären, welche je von Naturforschern aufgestellt worden ist. Ich will auch sogleich einräumen, dass die Naturforscher selbst durch diese Ergebnisse ihrer Untersuchungen nicht wenig in
15 Verlegenheit gesetzt waren. Aber die Tatsachen waren da und liessen sich nicht wegleugnen. Wie diese Art von Bewegung des Eises zustande kommen könne, blieb lange durchaus rätselhaft, um so mehr, als die bekannte Brüchigkeit des Eises sich auch in den Glet-
20 schern durch die zahlreichen Spaltenbildungen zeigte, und weil, wie Tyndall[3] richtig hervorhob, darin wieder ein wesentlicher Unterschied der Eisströme von dem Fluss der Lava, des Teers, des Honigs oder eines Schlammstromes liegt.

25 Die Lösung dieses wunderlichen Rätsels ergab sich — wie das in den Naturwissenschaften so oft vorkommt — aus scheinbar weit abliegenden[4] Untersuchungen über die Natur der Wärme. Diese bilden eine der wichtigsten Errungenschaften der neueren Physik und werden
30 gewöhnlich unter dem Namen der mechanischen

Wärmetheorie zusammengefasst. Unter einer grossen Zahl von Folgerungen über die Beziehungen der verschiedensten Naturkräfte zu einander ergeben die Grundsätze der mechanischen Wärmetheorie auch gewisse Schlüsse über die Abhängigkeit des Gefrierpunktes des Wassers von dem Druck, welchem Eis und Wasser ausgesetzt sind.

Wir bestimmen bekanntlich den einen festen Punkt unserer Thermometerskala,° den wir den *Gefrierpunkt* oder *Null*° *Grad* nennen, dadurch, dass wir das Thermometer in ein Gemisch von reinem Wasser und Eis setzen. Wasser kann—wenigstens, wenn es mit Eis in Berührung ist—nicht weiter abgekühlt werden als bis zum Gefrierpunkte, ohne selbst zu Eis zu werden; Eis kann nicht höher erwärmt werden als bis zum Gefrierpunkte, ohne zu schmelzen. Eis und Wasser nebeneinander können also nur bei der einzigen festen Temperatur von Null Grad bestehen.

Sucht man ein solches Gemisch zu erwärmen durch eine untergesetzte Flamme, so schmilzt das Eis; aber die Temperatur des Gemisches wird durch die zugeleitete° Wärme nicht über Null Grad erhöht, so lange noch *etwas* Eis ungeschmolzen ist. Durch die zugeleitete Wärme wird also Eis von Null Grad in Wasser von Null Grad verwandelt, während für das Thermometer keine merkliche Temperaturerhöhung eingetreten ist. Die Physiker sagen deshalb, die zugeleitete Wärme sei *latent* geworden und Wasser von Null Grad enthalte eine gewisse Menge latenter Wärme mehr als Eis von derselben Temperatur.

Umgekehrt,° wenn wir dem Gemisch von Eis und Wasser noch weiter Wärme entziehen, so gefriert allmählich das Wasser; so lange aber noch etwas ungefrorenes Wasser da ist, bleibt die Temperatur von Null Grad bestehen. Das Wasser von Null Grad hat dabei seine latente Wärme abgegeben und ist in Eis von Null Grad übergegangen.

Ein Gletscher ist nun eine Eismasse, welche überall von Wasseräderchen durchrieselt° ist und welche deshalb in ihrem Innern überall die Temperatur des Gefrierpunktes hat. Selbst die tieferen Schichten der Firnmeere° scheinen auf den Höhen, die in unserer Alpenkette vorkommen, überall dieselbe Temperatur zu haben. Denn wenn auch der frisch gefallene Schnee jener Höhen meist kälter als Null Grad sein mag, so schmelzen die ersten Stunden warmen Sonnenscheins seine Oberfläche und bilden Wasser, welches in die tieferen kälteren Schichten einsickert und in diesen so lange wieder gefriert, bis sie durch und durch auf die Temperatur des Gefrierpunktes gebracht sind. Diese Temperatur bleibt dann unveränderlich dieselbe; denn durch die warmen Sonnenstrahlen kann die Oberfläche des Eises wohl abgeschmolzen, aber nicht über Null Grad erwärmt werden, und in die schlecht wärmeleitenden Schnee- und Eismassen dringt die Winterkälte nicht tief ein. Somit behält das Innere der Firnmeere wie der Gletscher unveränderlich die Temperatur des Gefrierpunktes.

Die Temperatur des Gefrierpunktes des Wassers kann jedoch durch starken Druck verändert werden. Es

wurde dies zuerst von James Thomson[1] in Belfast und fast gleichzeitig von Clausius[2] in Zürich aus der mechanischen Wärmetheorie gefolgert, ja, die Grösse dieser Veränderung konnte sogar mittelst derselben Schlüsse richtig vorausgesagt werden. Es sinkt näm- 5 lich für den Druck je einer Atmosphäre der Gefrierpunkt um $^1/_{144}$ eines Reaumur'schen Grades.[3] Der berühmte Physiker William Thomson[4] bestätigte die Folgerung durch den Versuch, indem er ein Gemisch von Eis und Wasser in einem passenden festen Gefässe 10 komprimierte. Das Gemisch wurde in der Tat kälter und kälter, je mehr der Druck gesteigert wurde, und zwar genau um so viel kälter, als die mechanische Wärmetheorie es verlangte.

Wenn unter Einwirkung des Druckes ein Gemisch 15 von Wasser und Eis kälter wird, als es vorher war, ohne dass ihm dabei Wärme entzogen wird, so kann das nur dadurch geschehen, dass freie Wärme latent wird, d. h., dass etwas Eis in dem Gemische schmilzt und zu Wasser wird. Darin liegt auch der Grund, dass 20 mechanischer Druck auf den Gefrierpunkt einwirken kann. Eis nimmt mehr Raum ein als das Wasser, aus dem es entsteht. Wenn Wasser in einem verschlossenen Gefässe gefriert, so sprengt es bekanntlich nicht nur gläserne Flaschen, sondern gelegentlich sogar eiserne 25 Bomben. Dadurch also, dass in dem zusammengepressten Gemische von Eis und Wasser etwas Eis schmilzt und zu Wasser wird, verringert sich das Volumen der Masse. Die Masse kann dem Drucke, der auf ihr lastet, mehr nachgeben als sie es ohne eine solche 30

Veränderung des Gefrierpunktes gekonnt hätte. Der mechanische Druck begünstigt hier, wie dies meistenteils bei der Wechselwirkung° verschiedener Naturkräfte gegen einander zu geschehen pflegt, das Eintreten einer solchen Veränderung, nämlich der Schmelzung, welche der Entfaltung seiner eigenen Wirksamkeit günstig ist.

Bei dem erwähnten Versuche von William Thomson waren Wasser und Eis zusammen in einem festen Gefässe, aus dem nichts entweichen konnte, eingeschlossen. Etwas anders gestaltet sich die Sache, wenn, wie in den Gletschern, das zwischen dem zusammengepressten Eise befindliche Wasser durch Spalten entweichen kann. Dann wird zwar das Eis gepresst, aber nicht das Wasser, welches ausweicht. Das gepresste Eis wird kälter, entsprechend der Erniedrigung seines Gefrierpunktes durch den Druck. Der Gefrierpunkt des Wassers aber, welches nicht zusammengepresst ist, wird nicht erniedrigt. So haben wir unter diesen Umständen Eis, das kälter ist als Null Grad, in Berührung mit Wasser von Null Grad. Die Folge davon wird sein, dass rings um das gepresste Eis fortdauernd Wasser gefriert und neues Eis sich bildet, während dafür ein Teil des gepressten Eises fortschmilzt.

Dies geschieht schon, wenn zwei Eisstücke aneinander gepresst werden; sie werden dabei an ihrer Berührungsfläche durch das gefrierende Wasser fest miteinander in ein zusammenhängendes Stück Eis vereinigt. Bei starkem Druck, der das Eis auch stärker erkältet, erfolgt die Vereinigung schnell; sie tritt auch bei sehr schwachem Drucke ein, jedoch erst nach län-

gerer Zeit. *Faraday*,[1] der dieses Phänomen° entdeckt hat, nannte es *Regelation* des Eises.

Dieses Zusammenfrieren zweier Eisstücke bringt man sehr leicht zustande mit zwei beliebig gestalteten Stücken, die aber nicht kälter als Null Grad sein dürfen und die am besten schon im Schmelzen begriffen sind. Wenn man sie nur wenige Augenblicke hindurch kräftig aneinander presst, so haften sie aneinander. Aber ein schwacher Druck genügt, wenn man die beiden Eisstücke lange Zeit in gegenseitiger Berührung lässt. Je ebener die sich berührenden Flächen sind, desto fester verschmelzen sie miteinander.

Diese Eigenschaft des schmelzenden Eises wird auch von den Knaben ausgebeutet, wenn sie Schneebälle und Schneemänner machen. Wir wissen, dass dies nur gelingt, wenn der Schnee schon im Schmelzen begriffen oder wenn er nur wenig kälter als Null Grad ist, so dass er durch die Wärme der Hand leicht bis zu dieser Temperatur erwärmt werden kann. Sehr kalter Schnee ist ein trockenes, loses Pulver und haftet nicht zusammen.

Was nun bei den Schneebällen im kleinen[2] vorgeht, das vollzieht sich im allergrössten Masstabe in den Gletschern. Die tieferen Lagen° des ursprünglich lokkeren und feinpulverigen Firnschnees° werden zusammengedrückt durch die über ihnen liegenden, oft viele hundert Fuss aufgetürmten Schneemassen und ballen sich unter diesem Druck zu immer festerem und dichterem Gefüge zusammen. Ursprünglich besteht der frisch gefallene Schnee aus zarten, mikroskopisch feinen Eisnadeln, die zu ungemein zierlichen, sechsstrahligen,°

federähnlich ausgefransten° Sternen zusammengesetzt sind. Dadurch, dass von den oberen Lagen der Schneefelder her, so oft diese der Sonnenwärme ausgesetzt sind, Wasser einsickert, und dieses, wo es in den tieferen Lagen noch kälteren Schnee antrifft, wieder gefriert, wird der Firn zuerst körnig° und auf die Temperatur des Gefrierpunktes gebracht. Indem nun das Gewicht der oben lagernden Massen immer mehr und mehr wächst, verwandelt sich der Schnee durch festeres Aneinanderhaften seiner einzelnen Körnchen endlich in eine ganz dichte und harte Eismasse.

Wir können diese Verwandlung von Schnee in Eis auch künstlich vollziehen, wenn wir einen entsprechenden Druck anwenden.

Stellen Sie sich ein zylindrisches Gefäss aus Gusseisen vor, dessen Bodenplatte° durch drei Schrauben festgehalten wird und abgenommen werden kann, um die in dem Gefäss gebildeten Eiszylinder heraus zu nehmen. Nachdem das Gefäss eine Weile in Eiswasser gelegen hat und bis auf Null Grad abgekühlt ist, wird es mit Schnee vollgestopft, und dann ein zylindrischer Stempel,° der die innere Höhlung ausfüllt, aber noch leicht in ihr gleitet, mit Hülfe einer hydraulischen Presse hineingetrieben. Die angewendete Presse erlaubt, den Druck, dem der Schnee ausgesetzt ist, bis auf fünfzig Atmosphären zu steigern. Natürlich schwindet der lockere Schnee unter einem so gewaltigen Drucke in ein sehr kleines Volumen zusammen. Man lässt mit dem Drucke nach, nimmt den Stempel heraus, füllt den leeren Teil des Zylinders wieder mit Schnee an, presst wieder und

fährt so fort, bis die ganze Höhlung der Form mit Eismasse angefüllt ist, die dem Drucke nicht mehr nachgibt. Wenn wir nun den gepressten Schnee herausnehmen, werden wir sehen, dass er zu einem ganz harten, scharfkantigen und trübe durchscheinenden[1] Eiszylinder geworden ist. Wie hart er ist, zeigt sich an dem Krachen, mit dem er zerschellt, wenn er gegen den Boden geschleudert wird.

So wie der Firnschnee in den Gletschern zu dichtem Eis zusammengepresst wird, so werden auch fertig gebildete unregelmässige Eisstücke an vielen Stellen wieder in dichtes klares Eis vereinigt. Am auffallendsten geschieht dies am Fusse der Gletscherkaskaden. Es kommen Gletscherfälle vor, wo ein oberer Teil des Gletschers an einer steilen Felswand endigt und wo seine Eisblöcke nacheinander als Lawinen° über den Rand dieser Wand hinabstürzen. Das Haufwerk° von zerschellten Eisblöcken, welches sich infolge davon am Fusse der Felswand ansammelt, vereinigt sich unten wieder zu einer zusammenhängenden dichten Eismasse, die ihren Weg als Gletscher fortsetzt. Häufiger noch als solche Kaskaden, wo der Gletscherstrom ganz abreisst, sind solche Stellen, wo der Talboden sich schneller senkt, wie die schon vorher erwähnten Stellen des Eismeeres der Kaskade des Glacier du Géant und der grossen Endkaskade des Glacier des Bois. Da zerspaltet das Eis in tausende von Bänken° und Klippen, die sich doch wieder am unteren Ende der steileren Senkung zu einer zusammenhängenden Masse vereinigen.

Auch dies können wir nachmachen in unserer eiser-

nen Form. Ich werfe statt des Schnees eine Anzahl unregelmässig geformter Eisstückchen hinein und presse sie zusammen; fülle dann neue Eisstücke nach, presse wieder und fahre damit fort, bis die Form gefüllt ist. Wenn ich die Masse herausnehme, bildet sie einen zusammenhängenden festen Zylinder von ziemlich klarem Eise, welcher vollkommen scharfkantig ausgepresst ist und sich genau der inneren Fläche anfügt.°

Dieser von Tyndall zuerst ausgeführte Versuch zeigt, dass auch ein fertiger Eisblock wie Wachs in eine jede beliebige[1] Form gepresst werden kann. Es wäre nun denkbar, dass der Druck im Inneren der Presse einen solchen Block erst in feines, sich in jede Ecke der Form einfügendes Pulver zermalmte und dass dieses Eispulver sich alsdann, wie Schnee, durch Zusammenfrieren wieder vereinigte. Es wäre um so mehr denkbar, als man in der Tat, während die Presse angetrieben wird, ein fortdauerndes Knarren und Knacken des Eises im Inneren der Form hört. Das Aussehen eines aus Eisblöcken gepressten Zylinders kann uns indessen belehren, dass er nicht in dieser Weise entstanden ist. Das Eis, aus dem er besteht, ist nämlich klarer als das aus Schnee entstandene Eis; man erkennt in ihm die einzelnen dazu verwendeten grösseren Eisstücke wieder, freilich in veränderter und plattgepresster Form. Am schönsten zeigt sich dies, wenn man klare Eisstücke in die Form legt und die übrigbleibenden Hohlräume° mit Schnee vollstopft. Dann besteht der Zylinder aus abwechselnden Schichten klaren und trüben Eises; ersteres von den Eisstücken,

letzteres vom Schnee herrührend. Die klaren Eisstücke zeigen sich aber auch in diesem Falle als zusammengepresste platte Scheiben.

Diese Beobachtungen lehren also, dass das Eis nicht vorher zertrümmert zu sein braucht, um sich in die 5 vorgeschriebene Form zu fügen, sondern dass es nachgeben kann, ohne seinen Zusammenhang verloren zu haben. Wir können uns davon in noch viel auffallenderer Weise überzeugen und zugleich einen besseren Einblick in den Grund der Nachgiebigkeit des Eises 10 gewinnen, wenn wir dasselbe nicht in der verschlossenen, undurchsichtigen Form, sondern frei zwischen zwei ebenen Holzplatten zusammenpressen.

Ich stelle zunächst ein unregelmässig zylindrisches Stück natürlichen Eises mit zwei ebenen Endflächen 15 zwischen die Platten der Presse. Ich treibe die Presse an; durch den Druck wird der Block zerbrochen; jeder Riss, der sich bildet, läuft durch die ganze Dicke desselben; der Block zerfällt in einen Haufen von grösseren Trümmern, die noch weiter zerspalten und zerbrechen, 20 indem ich die Presse weiter antreibe. Lasse ich mit dem Drucke nach, so sind alle diese Eistrümmer allerdings durch Zusammenfrieren wieder zu einer Art unregelmässiger Platte vereinigt, aber man sieht es dem Ganzen an,[1] dass die Form des Eisblockes weniger 25 durch Nachgiebigkeit als durch Zerbrechen verändert worden ist, und dass die einzelnen Bruchstücke ihre Lage gegeneinander vollständig geändert haben.

Sehr viel anders gestaltet sich die Sache, wenn ich zwischen die Platten der Presse einen unserer aus 30

Schnee oder Eis gepressten Zylinder stelle. So oft ich die Presse antreibe, hört man ihn knarren und knacken, aber er bricht nicht auseinander, er verändert vielmehr ganz allmählich seine Form, wird immer niedriger, dafür aber breiter, und erst zuletzt, wenn er sich schon in eine ziemlich platte Kreisscheibe° verwandelt hat, fängt er an, am Rande einzureissen und Spalten zu bilden, gleichsam Gletscherspalten im kleinen.[1]

Die genauere Betrachtung eines klaren, aus durchsichtigen Eisstücken zusammengepressten Zylinders, in den Momenten, wo wir die Presse antreiben, lässt uns erkennen, was in seinem Inneren geschieht. Wir sehen dann eine unermessliche Zahl äusserst feiner verzweigter Sprünge wie eine trübe Wolke durch ihn hinschiessen, die, sobald wir die Presse ruhen lassen, zum grossen Teil, wenn auch nicht ganz, in den nächsten Augenblicken wieder verschwinden. Ein solcher umgepresster Block ist unmittelbar nach dem Versuche merklich trüber als vorher, und die Trübung° rührt, wie man durch die Lupe erkennen kann, von einer grossen Zahl haarfeiner weisslicher Linien her, welche das Innere der klaren Eismasse durchziehen. Diese Linien sind der optische Ausdruck äusserst feiner Spalten, welche sich durch die Masse des Eises hinziehen.

Wir dürfen daraus schliessen, dass der gepresste Eisblock von einer grossen Zahl feiner Sprünge und Spalten durchrissen ist, dass er dadurch nachgiebig wird, dass seine Teilchen sich ein wenig verschieben und sich dadurch dem Drucke entziehen, und dass unmittelbar danach der grössere Teil der Spaltensysteme durch Zu-

sammenfrieren wieder verschwindet. Nur da, wo durch die Verschiebung bewirkt ist, dass die Oberflächen der kleinen verschobenen Eispartikelchen nicht genau aufeinander passen, bleiben Reste der Spalträume° offen und verraten sich durch Reflexion des eindringenden 5 Lichtes als weissliche Linien und Flächen.

Diese Sprünge und Trennungsflächen° in dem gepressten Eise machen sich auch weiter sehr bemerklich, wenn, wie ich vorher auseinandersetzte, das Eis unmittelbar nach dem Pressen kälter als Null Grad ge- 10 worden ist, sich wieder bis zu dieser Temperatur erwärmt und allmählich in das Schmelzen übergeht. Dann füllen sich die Spalten mit Wasser. Solches Eis besteht alsdann aus einer Menge stecknadelknopf- bis erbsengrosser Eiskörner,[1] die mit ihren Vorsprüngen 15 und Zacken eng ineinandergeschoben sind, während sich die engen Spalten zwischen ihnen mit Wasser gefüllt haben. Ein derartiger aus Eiskörnern gebildeter Block haftet fest zusammen; bricht man von seinen Kanten kleine Eisteilchen los, so zeigen sich diese in 20 Gestalt vieleckiger° Körnchen. Genau dieselbe Zusammensetzung zeigt schmelzendes Gletschereis, nur dass die Stücke, aus denen es zusammengesetzt ist, grösser sind, als in dem künstlich gepressten Eise, und die Grösse von Taubeneiern erreichen. 25

Gletschereis und gepresstes Eis erweisen sich also als Substanzen von körniger Struktur im Gegensatz zu dem regelmässig krystallinischen Eise, wie es sich auf der Oberfläche ruhiger Gewässer ausbildet. Wir finden hier beim Eise denselben Unterschied, wie zwischen 30

Kalkspat° und Marmor, welche beide aus kohlensaurem° Kalk bestehen; der Kalkspat bildet aber regelmässige grosse Krystalle, während der Marmor aus unregelmässig zusammengebackenen krystallinischen Körnern besteht. Im Kalkspat wie im krystallinischen Eise erstrecken sich Sprünge, die man durch ein angesetztes Messer hervorbringt, weithin durch die Masse, während in dem körnigen Eise ein Sprung, der in einem der Körner, da, wo das Eis nachgeben muss, entsteht, nicht notwendig über die Grenzen des Kornes hinausreisst.

Eis, das künstlich aus Schnee gepresst wurde, und daher von Anfang an aus unzähligen, sehr feinen Krystallnadeln zusammengesetzt ist, zeigt sich als besonders plastisch. Doch unterscheidet es sich zunächst im Aussehen sehr beträchtlich vom Gletschereise. Es ist sehr trübe, wegen der grossen Menge von Luft, die in der flockigen Masse des Schnees eingeschlossen war, und die in Form feiner Bläschen darin zurückbleibt. Man kann es aber klarer machen, wenn man einen Zylinder solchen Eises zwischen Holzplatten umpresst. Dann entweichen die Luftbläschen als feiner Schaum aus der Oberfläche des Zylinders. Zerbricht man die gebildete Eisscheibe wieder, bringt man die Stücke in die eiserne Form und presst sie wieder in einen Zylinder zusammen, so kann man durch fortgesetztes Umkneten° die Luft mehr und mehr aus dem Eise entfernen, dieses also immer klarer machen. In derselben Weise wird auch wohl in den Gletschern die weissliche Firnmasse° allmählich in das klare durchsichtige Gletschereis verwandelt.

Endlich, wenn man gebänderte° Eiszylinder, die aus Schnee-und Eisstücken zusammengepresst sind, zu Scheiben auspresst, so werden auch diese Scheiben fein gebändert, indem sowohl ihre klaren wie ihre weisslichen Lagen° sich gleichmässig strecken. 5

Dieses gebänderte Eis kommt in vielen Gletschern vor und entsteht, nach Tyndall, wahrscheinlich dadurch, dass Schnee zwischen die Blöcke von Eiskaskaden fällt, dass dann diese Mischung von Schnee und klarem Eis im weiteren Verlaufe des Gletschers wieder 10 zusammengepresst und durch die Bewegung der Masse allmählich gestreckt wird; ein Vorgang, der dem künstlich von uns ausgeführten ganz analog ist.

Sie sehen, wie vor dem Auge des Naturforschers der Gletscher mit seinen wirr übereinander getürmten Eis- 15 blöcken, seinen öden, steinigen und schmutzigen Eisflächen, seinen Verderben drohenden Spalten zu einem majestätischen Strome geworden ist, der ruhig und regelmässig wie kein anderer dahinfliesst, der nach fest bestimmten Gesetzen sich verengt, ausbreitet, aufstaut 20 oder brandend und zerschellend an den Abhängen hinunterstürzt. Verfolgen wir ihn schliesslich über sein Ende hinaus, so sehen wir das durch Schmelzung erzeugte Wasser, zu einem starken Bache vereinigt, aus dem Eisportal des Gletschers hervorbrechen und davon- 25 strömen. Freilich sieht ein solcher Bach zunächst, wie er unter dem Gletscher zum Vorschein kommt, schmutzig genug aus, weil er allen Steinstaub, den der Gletscher abgeschliffen hat, mit fortschwemmt. Man fühlt sich enttäuscht, wenn man das wunderbar schöne und 30

durchsichtige Eis in trübes Wasser verwandelt sieht. In der Tat ist aber das Wasser der Gletscherbäche an sich ebenso schön und rein wie das Eis, wenn auch zunächst seine Schönheit verhüllt und unsichtbar ist.
5 Man muss diese Bäche wieder aufsuchen, nachdem sie durch einen See gegangen sind, und in diesem ihren Steinstaub abgesetzt haben. Der Genfer,[1] der Thuner, der Vierwaldstätter und der Boden-See, der Lago maggiore, der Comer- und Garda-See werden haupt-
10 sächlich durch Gletscherwasser gespeist; die Klarheit und die wunderbar schöne blaue oder blaugrüne Farbe ihres Wassers ist das Entzücken aller Reisenden.

Doch lassen wir die Schönheit und fragen wir nach dem Nutzen, so werden wir noch mehr Grund zur Be-
15 wunderung finden. Das hässliche Steinpulver, welches die Gletscherbäche absetzen, ist ein für die Vegetation höchst vorteilhaftes Erdreich. In mechanischer Beziehung äusserst fein zermahlen, bildet es einen vollkommen unerschöpften und an mineralischen Pflanzen-
20 nährstoffen° sehr reichen, jungfräulichen Boden. Die fruchtbaren Schichten feinen Lehmes, der sogenannte Löss,° welcher sich durch das ganze Rheintal bis nach Belgien° hinabzieht, ist in der Tat alter Gletschersteinstaub.

25 Ferner ist die Bewässerung einer Gegend, welche durch die Schneefelder und Gletscher der Hochgebirge° unterhalten wird, ausserordentlich reichlich, erstens weil die feuchte Luft, welche über die kalten Höhen der Gebirge streicht, ihren Wassergehalt dort als Schnee
30 absetzt; zweitens, weil der Schnee im Sommer am

schnellsten schmilzt und weil die Quellen, welche von den Schneefeldern herkommen, in der Jahreszeit am reichlichsten gespeist werden, in der man des Wassers am meisten bedarf.

So lernen wir die wilden toten Eiswüsten noch von 5 einer anderen Seite kennen. Aus ihnen rieselt in tausend Äderchen, Quellen und Bächen das befruchtende Nass hervor, welches den fleissigen Alpenbewohnern erlaubt, saftiges° Grün und Fülle der Nahrung den steilen Berggehängen° abzugewinnen. Sie erzeugen auf 10 der verhältnismässig kleinen Oberfläche der Alpenkette die mächtigen Ströme, den Rhein, die Rhône, den Po, die Etsch,[1] den Inn,[2] welche das westliche Europa auf hunderte von Meilen hinaus in reichen breiten Flusstälern durchziehen bis zur Nordsee, bis zum Mit- 15 telmeere,° zum Adriatischen und zum Schwarzen Meere hin. Erinnern Sie sich, wie gross Goethe in Mahomet's Gesang[3] den Lauf des Felsenquells von seinem Ursprung über den Wolken bis zur Vereinigung mit dem Vater Ozean dargestellt hat. Es wäre ver- 20 messen, nach ihm eine solche Schilderung in anderen als seinen Worten geben zu wollen:

Und im rollenden Triumphe
Gibt er Ländern Namen, Städte
Werden unter seinem Fuss. 25
Unaufhaltsam rauscht er weiter,
Lässt der Türme Flammengipfel,
Marmorhäuser, eine Schöpfung
Seiner Fülle, hinter sich.
Zedernhäuser trägt der Atlas 30
Auf den Riesenschultern; sausend

Wehen über seinem Haupte
Tausend Flaggen durch die Lüfte
Zeugen seiner Herrlichkeit.

Und so trägt er seine Brüder,
5 Seine Schätze, seine Kinder
Dem erwartenden Erzeuger
Freudebrausend an das Herz.

ÜBER DIE PHYSIOLOGISCHEN URSACHEN DER MUSIKALISCHEN HARMONIE

Vorlesung gehalten in Bonn.

Hochgeehrte Versammlung!

In der Vaterstadt Beethovens,[1] des gewaltigsten unter den Heroen° der Tonkunst, schien mir zur Besprechung in einem grösseren Kreise kein Gegenstand geeigneter als die Musik. Ich will daher, der Richtung folgend, die 5 meine Arbeiten in der letzten Zeit genommen haben, versuchen Ihnen auseinander zu setzen, was Physik und Physiologie über die geliebteste Kunst des Rheinlandes, über Musik und musikalische Verhältnisse zu sagen wissen. Die Musik hat sich bisher mehr als jede an- 10 dere Kunst der wissenschaftlichen Behandlung entzogen. Dichtkunst, Malerei und Bildhauerei entnehmen wenigstens das Material für ihre Schilderungen aus der Welt der Erfahrung; sie stellen Natur und Menschen dar. Nicht bloss kann dieses ihr Material auf[2] seine Richtig- 15 keit und Naturwahrheit° kritisch untersucht werden, sondern auch in der Erforschung der Gründe für das ästhetische Wohlgefallen, welches die Werke dieser Künste erregen, hat die wissenschaftliche Kunstkritik, wenn auch enthusiastische Seelen ihr dazu oft die 20

Berechtigung bestreiten, unverkennbare Fortschritte gemacht. In der Musik dagegen behalten, wie es scheint, vorläufig noch diejenigen recht, welche die kritische „Zergliederung ihrer Freuden“[1] von sich weisen. Diese Kunst, die ihr Material nicht aus der sinnlichen° Erfahrung nimmt, die nicht die Aussenwelt zu beschreiben, nur ausnahmsweise sie nachzuahmen sucht, entzieht dadurch der wissenschaftlichen Betrachtung die meisten Angriffspunkte, welche die anderen Künste darbieten, und erscheint daher in ihren Wirkungen ebenso unbegreiflich und wunderbar, wie sie mächtig ist. Wir müssen und wollen uns deshalb vorläufig auf die Betrachtung ihres künstlerischen Materials, der Töne oder Tonempfindungen,° beschränken. Es hat mich immer als ein wunderbares und besonders interessantes Geheimnis angezogen, dass gerade in der Lehre von den Tönen, in den physikalischen und technischen Fundamenten der Musik, die unter allen Künsten in ihrer Wirkung auf das Gemüt als die stoffloseste,[2] flüchtigste und zarteste Urheberin unberechenbarer und unbeschreiblicher Stimmungen erscheint, die Wissenschaft des reinsten und konsequentesten° Denkens, die Mathematik, sich so fruchtbar erwies. Der Generalbass° ist ja eine Art angewandter° Mathematik; in der Abteilung der Tonintervalle, der Taktteile° u.s.w.[3] spielen die Verhältnisse ganzer Zahlen—zuweilen sogar Logarithmen—eine hervorragende Rolle. Mathematik und Musik, der schärfste Gegensatz geistiger Tätigkeit, den man auffinden kann, und doch verbunden, sich unterstützend, als wollten sie die geheime

Konsequenz° nachweisen, die sich durch alle Tätigkeiten unseres Geistes hinzieht, und die auch in den Offenbarungen des künstlerischen Genius uns unbewusste Äusserungen geheimnisvoll wirkender Vernunftmässigkeit° ahnen lässt.

Indem ich die physikalische Akustik vom physiologischen Standpunkte aus betrachtete, d. h. näher der Rolle nachging,[1] welche dem Ohre in der Wahrnehmung° der Töne zuerteilt ist, schien sich manches in seinem Zusammenhange klarer darzustellen; und so will ich denn versuchen, ob ich Ihnen einiges von dem Interesse mitteilen kann, welches diese Fragen in mir erregt haben, indem ich Ihnen etliche Ergebnisse der physikalischen und physiologischen Akustik anschaulich zu machen suche.

Die Kürze der zugemessenen Zeit fordert, dass ich mich auf einen Hauptpunkt beschränke; ich will aber den wichtigsten herausgreifen, an welchem Sie zugleich am besten erkennen werden, welche Bedeutung und Ergebnisse wissenschaftliche Untersuchungen in diesem Gebiete haben können, nämlich die Frage nach dem *Grunde der Konsonanz.*° Tatsächlich steht fest, dass die Schwingungszahlen° konsonanter Töne immer im Verhältnisse kleiner ganzer Zahlen zu einander stehen. Aber warum? Was haben die Verhältnisse der kleinen ganzen Zahlen mit der Konsonanz zu tun? Es ist dies eine alte Rätselfrage, die schon *Pythagoras*[2] der Menschheit aufgegeben hat und die bisher ungelöst geblieben ist. Sehen wir zu, ob wir sie mit den Hülfsmitteln der modernen Wissenschaft beantworten können.

Zuerst, was ist ein Ton? Schon die gemeine Erfahrung lehrt uns, dass alle tönenden Körper in Zitterungen begriffen sind. Wir sehen und fühlen dieses Zittern, und bei starken Tönen fühlen wir, selbst ohne
5 den tönenden Körper zu berühren, das Schwirren° der uns umgebenden Luft. Spezieller zeigt die Physik, dass jede Reihe von hinreichend schnell sich wiederholenden Stössen,° welche die Luft in Schwingung versetzt, in dieser einen Ton erzeugt.

10 Musikalisch wird der Ton, wenn die schnellen Stösse in ganz regelmässiger Weise und in genau gleichen Zeiten sich wiederholen, während unregelmässige Erschütterungen der Luft nur Geräusche geben. Die Höhe eines musikalischen Tones hängt von der
15 Zahl solcher Stösse ab, die in gleicher Zeit erfolgen; je mehr Stösse in derselben Zeit, desto höher der Ton. Dabei stellt sich, wie bemerkt, ein enger Zusammenhang zwischen den bekannten harmonischen, musikalischen Intervallen und der Zahl der Luftschwingungen heraus.
20 Wenn bei einem Tone zweimal so viel Schwingungen in derselben Zeit geschehen wie bei einem anderen, so ist er die höhere Oktave dieses anderen. Ist das Verhältnis der Schwingungen in gleicher Zeit 2 : 3, so bilden beide Töne eine Quinte,° ist es 4 : 5, so bilden sie eine
25 grosse Terz.°

Wenn Sie sich merken, dass die Anzahl der Schwingungen bei den Tönen des Durakkords° *C E G C* im Verhältnis der Zahlen 4 : 5 : 6 : 8 steht, so können Sie daraus alle anderen Tonverhältnisse herleiten, indem Sie sich
30 über jeden der genannten Töne einen neuen Durakkord

gebaut denken, der dieselben Schwingungsverhältnisse zeigt. Die Zahl der Schwingungen ist, wie sich bei einer nach dieser Regel angestellten Berechnung ergibt, innerhalb des Gebietes der hörbaren Töne ausserordentlich verschieden. Da die höhere Oktave eines 5 Tones zweimal so viele Schwingungen macht als ihr Grundton, so macht die zweithöhere viermal, die dritte achtmal so viele. Unsere neueren Pianofortes umfassen sieben Oktaven; ihr höchster Ton macht deshalb 128 Schwingungen in derselben Zeit, in welcher ihr tiefster 10 eine Schwingung vollführt.

Das tiefste *C*, das unsere Klaviere zu haben pflegen, und das die sechzehnfüssigen offenen Pfeifen der Orgel geben — die Musiker nennen es das Kontra-*C*°—, macht 33 Schwingungen in der Sekunde. Wir nähern 15 uns bei ihm schon den Grenzen des Hörens. Sie werden bemerkt haben, dass diese Töne auf dem Pianoforte einen dumpfen, schlechten Klang haben; es ist schwer, ihre musikalische Höhe, die Reinheit ihrer Stimmung° ganz scharf zu beurteilen. Auf der Orgel 20 ist das Kontra-*C* etwas kräftiger als das der Saiten, aber auch hier fühlt sich das Ohr unsicher über die musikalische Höhe des Tones. Auf den grösseren Orgeln findet sich noch eine ganze Oktave unter diesem Kontra-*C*, bis zu einer 32 füssigen Pfeife, die das 25 nächsttiefere *C* von 16½ Schwingungen in der Sekunde gibt; aber das Ohr empfindet diese Töne kaum noch als etwas anderes, denn als ein dumpfes Dröhnen, und je tiefer sie sind, desto deutlicher unterscheidet es in ihnen die einzelnen Luftstösse. Sie werden deshalb 30

musikalisch auch nur zur Verstärkung des Tones der nächsthöheren Oktave gebraucht, dem sie den Eindruck grösserer Tiefe geben.

Mit Ausnahme der Orgel finden die übrigen musi-
5 kalischen Instrumente, so verschiedene Mittel zur Ton-
erzeugung sie auch anwenden, die Grenze ihrer Tiefe sämtlich ungefähr in derselben Gegend der Tonleiter wie das Klavier; nicht, weil es unmöglich wäre, langsamere Luftstösse von ausreichender Kraft hervor-
10 zubringen, sondern weil das Ohr seinen Dienst versagt, weil es langsamere Stösse eben nur als einzelne Stösse empfindet, sie aber nicht zu einem Tone zusammenfasst.

Die oft wiederholte Angabe des französischen Phy-
15 sikers Savart,[1] dass er an einem besonders konstruierten Instrumente Töne von acht Schwingungen in der Sekunde gehört habe, scheint auf einem Irrtum zu beruhen.

Nach der Höhe hin gibt man dem Pianoforte wohl
20 einen Umfang bis zur siebenten Oktave des Kontra-*C*, dem sogenannten fünfgestrichenen° *C* von 4224 Schwingungen in der Sekunde. Von den Orchesterinstrumenten könnte nur die Pikkoloflöte° ebenso hoch oder noch einen Ton höher gehen. Die Violine pflegt nur bis zu
25 dem zunächst darunterliegenden *E* von 2640 Schwingungen in der Sekunde gebraucht zu werden; abgesehen von den Kraftleistungen himmelstürmerischer Virtuosen,[2] welche hier gern Motive° suchen, um ihren Hörern neues und unerhörtes Herzweh° zu bereiten.
30 Solchen winken übrigens über dem fünfgestrichenen *C*

noch drei ganze Oktaven hörbarer und den Ohren höchst schmerzhafter Töne entgegen, wie Despretz[1] nachgewiesen hat, der mittelst kleiner, mit dem Violinbogen gestrichener Stimmgabeln das achtgestrichene *C* von 32 770 Schwingungen in der Sekunde erreicht zu haben 5 angibt. Dort erst schien die Tonempfindung ihre Grenze zu erreichen, und auch hier waren in den letzten Oktaven die Intervalle nicht mehr zu unterscheiden.

Die musikalische Höhe des Tones hängt nur von der Zahl der Luftschwingungen in der Sekunde ab, nicht 10 von der Art, wie sie hervorgebracht werden. Es ist gleichgültig, ob der Ton gebildet wird durch die schwingenden Saiten des Klavieres und der Violine, durch die Stimmbänder° des menschlichen Kehlkopfs,° durch die Metallzungen° des Harmonium, die Rohrzungen° der 15 Klarinette, Oboe und des Fagotts,° durch die Schwingung der Lippen des Blasenden im Mundstück der Blechinstrumente oder durch die Brechung der Luft an den scharfen Lippen der Orgelpfeifen und Flöten.

Zwei Töne von gleicher Schwingungszahl sind immer 20 gleich hoch, von welchem dieser Instrumente sie auch hervorgebracht werden mögen. Was die Note *A* des Klaviers von der gleichen Note *A* der Violine, Flöte, Klarinette, Trompete unterscheidet, nennt man die Klangfarbe,° auf die wir später noch zurückkommen. 25

Aus dem bisher Angeführten[2] ersehen Sie, dass unser Ohr affiziert wird von Erschütterungen der Luft, deren Zahl in der Sekunde innerhalb gewisser Grenzen liegt, nämlich zwischen etwa 20 und 32 000, und dass infolge dieser Affektion die Empfindung° eines Tones entsteht. 30

Dass diese Empfindung eben eine Tonempfindung ist, beruht nicht auf der besonderen Art jener Lufterschütterungen, sondern nur in der besonderen Empfindungsweise unseres Ohres und unseres Hörnerven.° Ich
5 bemerkte schon vorher, dass wir das Zittern der Luft bei starken Tönen auch mit der Haut fühlen. So können auch Taubstumme die Luftbewegung, welche wir Schall° nennen, wahrnehmen, aber sie hören sie nicht, d. h. sie haben dabei keine Tonempfindung im Ohr,
10 sondern sie fühlen sie durch die Hautnerven und zwar in deren besonderer Empfindungsweise als Schwirren.° Auch die Grenzen der Schwingungsdauer, innerhalb deren das Ohr die Luftzitterung als Schall empfindet, hängen von der Eigentümlichkeit des Ohres ab.

15 Wenn die Sirene[1] langsam umläuft und die Luftstösse deshalb langsam erfolgen, hören Sie noch keinen Ton. Wenn sie schneller und schneller läuft, wird dadurch in der Art der Lufterschütterungen nichts Wesentliches geändert; ausserhalb des Ohres kommt dabei nichts
20 Neues hinzu, sondern, was neu hinzukommt, ist nur die Empfindung des Ohres, welches nun erst anfängt, von den Lufterschütterungen erregt zu werden; eben deshalb geben wir den schnelleren Luftzitterungen einen neuen Namen und nennen sie Schall. Wenn Sie Para-
25 doxen lieben, können Sie sagen, die Luftzitterung wird zum Schalle, erst wenn sie das hörende Ohr trifft.

Ich muss Ihnen jetzt weiter die Ausbreitung des Schalles durch den Luftraum beschreiben. Die Bewegung der Luftmasse, wenn ein Ton durch sie hineilt,
30 gehört zu den sogenannten Wellenbewegungen, einer in

der Physik sehr wichtigen Klasse von Bewegungen. Denn ausser dem Schalle ist auch das Licht eine Bewegung derselben Art.

Der Namen ist vom Vergleich mit den Wellen der Oberfläche unserer Gewässer hergeleitet, und wir werden 5 uns an diesen auch die Eigentümlichkeiten einer solchen Bewegung am leichtesten anschaulich machen können.

Wenn wir einen Punkt in einer ruhenden Wasserfläche in Erschütterung versetzen, z. B. einen Stein hineinwerfen, so pflanzt sich die Bewegung, welche wir her- 10 vorgerufen haben, in Form kreisförmig sich verbreitender Wellen über die Oberfläche des Wassers fort. Der Wellenkreis wird immer grösser und grösser, während an dem ursprünglich getroffenen Punkte schon wieder Ruhe hergestellt ist; dabei werden die Wellen 15 immer niedriger, je mehr sie sich von ihrem Mittelpunkte entfernen, bis sie allmählich verschwinden. Wir unterscheiden an einem solchen Wellenzuge° hervorragende Teile, die Wellenberge,° und eingesenkte, die Wellentäler.° 20

Einen Wellenberg und ein Wellental zusammengenommen nennen wir eine Welle; wir messen deren Länge vom Gipfel des einen Wellenberges bis zum Gipfel des nächsten.

Während die Welle über die Oberfläche der Flüssig- 25 keit hinläuft, bewegen sich nicht etwa die Wasserteilchen, aus denen sie besteht, mit ihr fort. Wir können das leicht erkennen, wenn ein Hälmchen auf dem Wasser schwimmt. Die Wellen, welche es erreichen, heben es und senken es, aber wenn sie vorübergezogen sind, 30

ist das Hälmchen nicht merklich von seiner Stelle gerückt.

Ein schwimmendes leichtes Körperchen macht aber nur die Bewegung mit, welche die benachbarten Wasserteilchen machen. Wir schliessen daraus, dass auch diese nicht der Welle gefolgt, sondern nach einigem Hin- und Herschwanken an ihrem ersten Platze geblieben sind. Was sich also als Welle fortbewegt, sind nicht die Wasserteilchen selbst, sondern es ist nur eine Form der Oberfläche, die sich fort und fort aus neuen Wasserteilchen aufbaut. Die Bahnen der einzelnen Wasserteilchen sind vielmehr in sich geschlossene senkrecht stehende Kreisbahnen,[1] in denen jene fortdauernd mit nahezu gleichförmiger Geschwindigkeit umlaufen, so lange Wellen über sie weggehen.

Um nun von den Wasserwellen auf die Schallwellen zurückzukommen, denken Sie sich statt des Wassers eine zusammendrückbare elastische Flüssigkeit, wie die Luft und die Wasserwellen durch eine auf die Oberfläche gelegte feste Platte niedergedrückt, so aber, dass die Flüssigkeit dem Druck nirgends seitlich ausweicht. Unter den Wellenbergen, wo sich am meisten Flüssigkeit befindet, wird sie dabei am stärksten verdichtet werden, in den Wellentälern weniger. Sie bekommen also jetzt statt der Wellenberge verdichtete, statt der Wellentäler weniger dichte Luftschichten. Nun stellen Sie sich vor, dass diese plattgepressten Wellen sich ebenso fortpflanzten wie vorher, und dass auch die senkrechten Kreisbahnen der einzelnen Wasserteilchen in horizontale gerade Linien zusammengepresst seien. So

bleibt denn auch für die Schallwellen die Eigentümlichkeit bestehen, dass die Luftteilchen in ihrer geradlinigen Bahn nur hin und her schwanken, während die Welle selbst eine sich fortpflanzende Bewegungsform ist, die sich fortdauernd aus neuen Luftteilchen zusammensetzt. 5
Damit hätten wir zunächst Schallwellen, die sich von ihrem Mittelpunkte in horizontaler Richtung ausbreiten.

Aber die Ausbreitung der Schallwellen ist nicht, wie die der Wasserwellen, auf eine horizontale Fläche beschränkt, sondern sie findet nach allen Richtungen in 10
den Raum° hinein statt. Denken Sie sich die Kreise, welche ein in das Wasser geworfener Stein erzeugt, nach allen Richtungen des Raumes hin auslaufend, so werden daraus kugelförmige Luftwellen, in denen sich der Schall verbreitet. 15

Wir können also fortfahren, uns an dem Bilde der Wasserwellen die Eigentümlichkeiten der Schallbewegung anschaulich zu machen.

Die Länge der Wasserwellen (d. h. von Wellenberg zu Wellenberg gemessen) ist ausserordentlich ver- 20
schieden, von den kleinen Kräuselungen der Oberfläche, wie sie ein fallender Tropfen oder ein leichter Windhauch auf der spiegelnden Fläche erregt, bis zu den Wellen, die, den Schweif° eines Dampfschiffes bildend, einen Schwimmer oder einen Kahn schon tüchtig zu 25
schaukeln vermögen, und von diesen wieder bis zu den Wogen des zürnenden Ozeans, in deren Tälern Linienschiffe mit der Länge ihres Kiels Platz finden, und deren Berggipfel nur der überschauen kann, der in die Masten emporgestiegen ist. Ähnliche Unterschiede 30

finden wir bei den Schallwellen. Die kleinen Kräuselungen des Wassers von geringer Wellenlänge entsprechen den hohen Tönen, die langen Meereswogen den tiefen. Das Kontra-*C*° z. B. hat Wellen von 35 Fuss Länge, seine höhere Oktave halb so lange, während die höchsten Klaviertöne nur 3 Zoll lange Wellen geben.

Sie sehen, dass die Länge der Wellen mit der Höhe des Tones zusammenhängt; ich füge hinzu, dass die Höhe der Wellenberge oder, auf die Luft übertragen, die Stärke der abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen[1] der Stärke und Intensität des Tones entspricht. Aber Wellen von gleicher Höhe können auch eine verschiedene Form haben. Die Gipfel ihrer Berge können z. B. abgerundet oder spitz sein. Entsprechende Verschiedenheiten können auch bei Schallwellen von gleicher Tonhöhe und Stärke vorkommen; bei ihnen ist die Klangfarbe° das, was der *Form* bei den Wasserwellen entspricht. Man überträgt den Begriff der Form von den Wasserwellen auch auf die Schallwellen.

Denken Sie sich Wasserwellen *verschiedener* Form plattgedrückt, so wird zwar die geebnete Oberfläche nun keine Formverschiedenheit mehr zeigen, aber im Inneren der Wassermasse werden wir verschiedene Arten von Verteilung des Druckes und der Dichtigkeit haben, die den Formverschiedenheiten der ungepressten Oberfläche entsprechen.

In diesem Sinne können wir also auch von einer Form der Schallwellen sprechen und sie darstellen. Wir lassen die Kurve sich heben, wo der Druck wächst,

sich senken, wo er abnimmt; gleichsam als hätten wir unterhalb der Kurve eine zusammengepresste Flüssigkeit, die sich bis zur Höhe der Kurve ausdehnen müsste, um ihre natürliche Dichtigkeit zu erreichen.

Bisher können wir leider erst in sehr wenigen Fällen 5 Rechenschaft von den Formen der Schallwellen geben, die den Klangfarben verschiedener tönender Körper entsprechen.

Unter den Schallwellen, die wir genauer zu bestimmen vermögen, ist eine Form von grosser Wichtigkeit, 10 welche wir die einfache oder reine Wellenform nennen können; sie ist dargestellt in Fig. 1. Bei Was-

Fig. 1.

serwellen sieht man sie nur, wenn sie im Vergleich zu ihrer Länge verhältnismässig niedrig sind und wenn sie 15 über eine spiegelnde Wasserfläche, ohne störende äussere Einflüsse und ohne vom Winde gebläht zu sein, ablaufen. Berg und Tal sind sanft abgerundet, gleich breit und symmetrisch, so dass die Berge, wenn man sie umgekehrt in die Täler legte,[1] gerade hinein passen 20 würden. Bestimmter zu charakterisieren wäre diese Wellenform dadurch, dass die Wasserteilchen in genau kreisförmigen Bahnen von geringem Durchmesser mit genau gleichförmiger Geschwindigkeit umlaufen. Dieser einfachen Wellenform entspricht eine Art von Tönen, 25 die wir aus nachher anzuführenden Gründen in bezug auf ihre Klangfarbe einfache Töne nennen wollen.

Solche Töne erhalten wir, indem wir eine angeschlagene Stimmgabel vor die Mündung einer gleich gestimmten Resonanzröhre° halten. Auch scheint der Ton klangvoller menschlicher Stimmen, welche in ihren mittleren 5 Lagen° den Vokal *U* singen, sich nicht sehr weit von dieser Wellenform zu entfernen.

Die Luftwellen, welche durch den Ton einer Violine hervorgebracht werden, würden bei entsprechender Darstellungsweise durch die Kurve Fig. 2 darzustellen sein. 10 Während jeder Schwingungsperiode wächst der Druck gleichmässig und fällt am Ende derselben plötzlich wieder auf sein Minimum.

Fig. 2.

Solchen Verschiedenheiten der Tonwellenform entspricht also die Verschiedenheit der Klangfarbe; ja, wir 15 können den Vergleich noch weiter treiben. Je gleichmässiger gerundet die Wellenform ist, desto weicher und milder die Klangfarbe, je abgerissener und eckiger die Wellenform, desto schärfer der Klang. Die Stimmgabeln mit ihrer rundlichen Wellenform, Fig. 1, haben 20 einen ausserordentlich weichen Klang, der Klang von Zither und Violine zeigt ähnliche Schärfe wie ihre Wellenformen, Fig. 2.

Endlich möchte ich nun Ihre Aufmerksamkeit noch einem lehrreichen Schauspiele zulenken, das ich nie 25 ohne ein gewisses physikalisches Vergnügen gesehen habe, weil es dem körperlichen Auge auf der Wasser-

fläche anschaulich macht, was sonst nur das geistige Auge des mathematischen Denkers in der von Schallwellen durchkreuzten Luft erkennen kann. Ich meine das Übereinanderliegen von vielen verschiedenen Wellensystemen, deren jedes einzelne seinen Weg ungestört fortsetzt. Wir können es von jeder Brücke aus auf der Oberfläche unserer Flüsse sehen, am erhabensten und reichsten aber, wenn wir auf einem hohen Punkte am Meeresufer stehen.

An den steilen, waldreichen Küsten des Samlandes,[1] wo den Bewohnern Ostpreussens das Meer die Stelle der Alpen vertritt, habe ich oftmals Stunden mit seiner Betrachtung verbracht.

Selten fehlt es dort an verschieden langen, nach verschiedener Richtung hin sich fortpflanzenden Wellensystemen in unabsehbarer Zahl. Die längsten pflegen vom hohen Meer gegen das Ufer zu laufen; kürzere entstehen, wo die grösseren brandend zerschellen, und laufen wieder hinaus in das Meer. Vielleicht stösst° noch ein Raubvogel nach einem Fische und erregt ein System von Kreiswellen, die, über die anderen hin, auf der wogenden Fläche schaukelnd, sich so regelmässig erweitern wie auf dem stillen Spiegel eines Landsees. So entfaltet sich vor dem Beschauer von dem fernen Horizonte her, wo zuerst, aus der stahlblauen Fläche auftauchend, weisse Schaumlinien die herankommenden Wellenzüge° verraten, bis zu dem Strande unter seinen Füssen, wo sie ihre Bogen auf den Sand zeichnen, ein erhabenes Bild unermesslicher Kraft und immer wechselnder Mannigfaltigkeit. Aber diese verwirrt nicht,

sondern sie fesselt und erhebt den Geist, da das Auge Ordnung und Gesetz leicht in ihr erkennt.

Ebenso müssen Sie sich nun die Luft eines Konzert- oder Tanzsaales von einem bunten Gewimmel gekreuzter Wellensysteme nicht bloss in der Fläche,[1] sondern nach allen ihren Dimensionen durchschnitten denken. Von dem Munde der Männer gehen weitgedehnte 6- bis 12füssige Wellen aus, kürzere 1½- bis 3füssige von den Lippen der Frauen. Das Knistern der Kleider erregt kleine Kräuselungen der Luft; jeder Ton des Orchesters entsendet seine Wellen, und alle diese Systeme verbreiten sich kugelförmig von ihrem Ursprungsorte, schiessen durcheinander, werden von den Wänden des Saales reflektiert und laufen hin und wieder, bis sie endlich, von neu entstandenen übertönt, erlöschen.

Wenn dieses Schauspiel nun auch dem körperlichen Auge verhüllt bleibt, so kommt uns ein anderes Organ zu Hülfe, um uns Kunde davon zu geben, nämlich das Ohr. Es zerlegt das Durcheinander der Wellen, welches in einem solchen Falle viel verwirrender sein würde als die Durchkreuzung der Meereswogen, wieder in die einzelnen Töne, die es zusammensetzen. Es unterscheidet die Stimmen der Männer, der Frauen, ja der einzelnen Individuen, die Klänge der verschiedenen musikalischen Instrumente, das Rauschen der Kleider, die Fusstritte und so weiter.

Wir müssen näher erörtern, was dabei geschieht. Wenn, wie wir vorher annahmen, auf die wogende Meeresfläche ein Raubvogel stösst, so entstehen Wellenringe, die sich auf der bewegten Fläche so lang-

sam und regelmässig ausbreiten, wie auf der ruhenden.

Diese Ringe werden in die gekrümmte Oberfläche der Wogen genau ebenso hineingeschnitten, wie sonst in die ebene des ruhenden Wasserspiegels. Die Form der Wasseroberfläche wird in diesen wie in anderen verwickelteren Fällen dadurch bestimmt, dass die Höhe jedes Punktes gleich wird der Höhe sämtlicher in diesem Augenblicke dort zusammentreffender Wellenberge zusammengenommen, wovon abzuziehen ist die Summe aller dort gleichzeitig hintreffender Wellentäler. Man nennt eine solche Summe positiver Grössen° (der Wellenberge) und negativer (der Wellentäler) — welche letzteren, statt sich zu summieren, abzuziehen sind[1] — eine *algebraische Summe*, und kann in diesem Sinne sagen: *die Höhe jedes Punktes der Wasserfläche wird gleich der algebraischen Summe aller Wellenteile, die gleichzeitig dort zusammentreffen.*

Bei den Schallwellen ist es nun ähnlich. Auch sie summieren sich an jeder Stelle des Luftraumes sowie am Ohr des Hörenden. Auch bei ihnen wird die Verdichtung und die Geschwindigkeit der Luftteilchen im Gehörgange° gleich der algebraischen Summe der einzelnen Werte der Verdichtung und Geschwindigkeit, welche den Schallwellenzügen, einzeln genommen, zukommen.[2] Diese eine Bewegung der Luft, welche durch das Zusammenwirken verschiedener tönender Körper entsteht, muss nun das Ohr wieder in Teile zerlegen, welche den Einzelwirkungen entsprechen. Dabei befindet es sich unter viel ungünstigeren Bedingungen als das Auge,

welches die ganze wogende Fläche auf einmal überschaut, während das Ohr natürlich nur die Bewegung der ihm zunächst benachbarten Luftteilchen wahrnehmen kann. Und doch löst das Ohr jene Aufgabe mit der grössten Genauigkeit, Sicherheit und Bestimmtheit. Es muss also die Fähigkeit haben, alle die einzelnen zusammenwirkenden Töne aus der Bewegung eines einzigen Punktes im Luftraume herauszufinden.

Für die Erklärung dieser wichtigen Fähigkeit des Ohres scheinen neuere anatomische Entdeckungen eine Aussicht zu gewähren.

Sie werden alle schon an musikalischen Instrumenten, namentlich an Saiten, das Phänomen° des Mittönens° wahrgenommen haben. Die Saite eines Pianoforte z. B., deren Dämpfer man aufgehoben hat, gerät in Schwingung, sobald ihr eigener Ton in der Nähe und stark genug angegeben wird. Hört der erregende Ton auf, so hört man denselben Ton auf der Saite noch eine Weile nachklingen. Legt man Papierschnitzelchen auf die Saite, so werden sie abgeworfen, sobald ihr Ton angegeben wird. Das Mittönen der Saite beruht darauf, dass die schwingenden Luftteilchen gegen die Saite und ihren Resonanzboden° stossen.

Jeder *einzelne* Wellenberg der Luft, der an der Saite vorbeigeht, wirkt allerdings zu schwach, um eine merkliche Bewegung der Saite hervorzubringen. Wenn aber eine lange Reihe von Wellenbergen so auf die Saite stösst, dass jeder folgende die kleine Erschütterung vermehrt, welche die vorigen zurückgelassen haben, so wird die Wirkung endlich merkbar. Es ist ein Vorgang der-

selben Art, wie bei einer Glocke von ungeheurem Metallgewicht, die sich unter dem Stosse des kräftigsten Mannes kaum merklich bewegt, während ein Knabe sie allmählich in die gewaltigsten Schwingungen zu versetzen vermag, indem er taktmässig° in demselben 5
Rhythmus, wie die Glocke ihre Pendelschwingungen° vollführt, an dem Stricke zieht.

Diese eigentümliche Verstärkung der Schwingungen hängt hierbei ganz wesentlich von dem Rhythmus ab, in welchem der Zug ausgeübt wird. Ist die Glocke ein- 10
mal in Pendelschwingungen von mässiger Breite[1] versetzt worden, und zieht der Knabe am Seile immer gerade in der Zeit, wo das Seil sich senkt und wo sein Zug der schon vorhandenen Bewegung der Glocke gleichgerichtet ist, so wird jeder Zug diese Bewegung, 15
wenn auch nur wenig, verstärken; allmählich wird sie aber dadurch zu einer beträchtlichen Grösse anwachsen.

Wollte der Knabe in unregelmässigen Zwischenzeiten seine Kraft anwenden, bald so, dass er die Glockenbewegung dadurch verstärkte, bald so, dass er ihr ent- 20
gegenarbeitete, so würde er keinen erheblichen Erfolg hervorbringen.

Wie der Knabe die Glocke, so können auch die Zitterungen der leichten und leicht beweglichen Luft die schwere und feste Stahlmasse einer Stimmgabel in 25
Bewegung setzen, wenn der Ton, der in der Luft erregt wird, genau im Einklange mit dem der Gabel ist; weil auch in diesem Falle jeder Anprall einer Luftwelle gegen die Gabel die[2] von den vorausgehenden Stössen ähnlicher Art erregte Bewegung verstärkt. 30

Am besten benutzt man eine Gabel, die auf einem Resonanzboden befestigt ist, und erregt den Ton in der Luft durch eine zweite Gabel ähnlicher Art von genau gleicher Stimmung.° Schlägt man die eine an, so findet man nach wenigen Sekunden auch die zweite tönend. Dämpft man den Ton der ersten Gabel, indem man ihre Zinken einen Augenblick mit dem Finger berührt, so unterhält die zweite den Ton. Nun bringt aber die zweite wiederum die erste in Mitschwingung° und so fort.

Klebt man aber nur ein wenig Wachs auf die Enden der einen Gabel, wodurch ihre Tonhöhe für das Ohr kaum merklich von der der anderen Gabel abweichend gemacht wird, so hört das Mitschwingen der zweiten Gabel auf, weil die Schwingungszeiten nicht mehr gleich sind. Es werden also die Stösse, welche die von der einen Gabel erregten Luftschwingungen auf den Resonanzboden der anderen hervorbringen, zwar eine Zeit lang den Bewegungen dieser zweiten Gabel gleichsinnig° sein und sie deshalb verstärken, nach kurzer Zeit aber aufhören es zu sein und deshalb die vorher gemachte Wirkung wieder zerstören.

Bei leichteren und beweglicheren tonfähigen Körpern, z. B. den Saiten, wird eine geringere Zahl von Luftstössen schon hinreichen, sie in Bewegung zu setzen. Solche Körper werden deshalb viel leichter als Stimmgabeln in Mitschwingung versetzt, auch bei einem weniger genauen Einklange des erregenden und des eigenen Tones.

Wenn neben einem Klavier mehrere Töne gleichzeitig

angegeben werden, so kann jede einzelne Klaviersaite immer nur dann mitschwingen, wenn unter den angegebenen Tönen ihr eigener Ton ist. Denken Sie sich den ganzen Dämpfer des Klaviers gehoben und auf allen Saiten Papierschnitzel gelegt, welche abfliegen sollen, sowie die Saite erschüttert wird; denken Sie sich nun mehrere menschliche Stimmen oder Instrumente in der Nähe ertönend, so werden die Schnitzel von *allen denjenigen* und *nur* von *denjenigen* Saiten abfliegen, deren Ton angegeben wird. Sie sehen, dass also auch das Klavier das Wellengewirre der Luft in seine einzelnen Bestandteile auflöst.

Was in unserem Ohr in demselben Falle geschieht, ist vielleicht dem eben beschriebenen Vorgange im Klavier sehr ähnlich. In der Tiefe des Felsenbeines,[1] in welches unser inneres Ohr hineingehöhlt ist, findet sich nämlich ein besonderes Organ, die Schnecke.° Dasselbe wird so genannt, weil es eine mit Wasser gefüllte Höhlung bildet, welche der inneren Höhlung des Gehäuses unserer gewöhnlichen Weinbergschnecke° durchaus ähnlich ist. Nur ist der Gang° der Schnecke in unserem Ohre seiner ganzen Länge nach durch zwei in der Mitte seiner Höhe ausgespannte Membranen in drei Abteilungen, eine obere, eine mittlere und eine untere, geschieden. In der mittleren Abteilung sind durch den Marchese *Corti*[2] sehr merkwürdige Bildungen° entdeckt worden: unzählige, mikroskopisch kleine Plättchen,° welche, wie die Tasten eines Klaviers regelmässig nebeneinander liegend, an ihrem einen Ende mit den Fasern des Hörnerven° in Verbindung stehen, an

ihrem anderen der ausgespannten Membran anhängen.

Das Ohr kann also, der Erfahrung nach, zusammengesetzte Luftbewegungen in ihre Teile zerlegen. Unter zusammengesetzten Luftbewegungen haben wir bisher
5 solche verstanden, die durch Zusammenwirkung mehrerer gleichzeitig tönender Körper entstanden waren. Da nun die Form der Tonwellen der verschiedenen musikalischen Instrumente verschieden ist, so wird es vorkommen können, dass die Schwingungsart der Luft,
10 die ein solcher Ton im Gehörgange° erregt, genau gleich ist der Schwingungsart, welche in einem anderen Falle von zwei oder mehreren anderen zusammenwirkenden Instrumenten im Gehörgange erzeugt wird. Wenn das Ohr im letzteren Falle die Bewegung in ein-
15 zelne Teile zerlegt, wird es nicht umhin können,[1] dasselbe auch im ersteren Falle zu tun, wobei der Ton nur aus einer Tonquelle herstammt. Und in der Tat geschieht dies.

Ich erwähnte vorher der Wellenform mit sanft ab-
20 gerundeten Tälern und Bergen, welche ich die einfache oder reine nannte. In bezug auf diese hat der französische Mathematiker Fourier[2] einen berühmten und wichtigen Satz° erwiesen, den man aus der mathematischen Sprache ins Deutsche ungefähr so übersetzen
25 kann: Jede beliebige Wellenform kann aus einer Anzahl einfacher Wellen von verschiedener Länge zusammengesetzt werden. Die längste dieser einfachen Wellen hat dieselbe Länge wie die gegebene Wellenform, die anderen die Hälfte, ein
30 Drittel, ein Viertel u. s. w. dieser Länge.

Wenn sich verschiedene einfache Wellen auf der Wasserfläche zusammensetzen, so bleibt freilich die zusammengesetzte Wellenform nur einen Augenblick bestehen, weil die längeren Wellen schneller forteilen als die kürzeren, sie trennen sich also gleich wieder, 5 und das Auge erhält Gelegenheit, zu erkennen, dass mehrere Wellenzüge vorhanden sind. Wenn aber Schallwellen in ähnlicher Weise zusammengesetzt sind, so trennen sie sich nicht, weil durch den Luftraum lange und kurze Wellen sich mit gleicher Geschwindigkeit 10 fortpflanzen; die zusammengesetzte Welle bleibt wie sie ist, indem sie fortgeht;[1] wenn sie das Ohr trifft, kann ihr niemand ansehen, ob sie ursprünglich in dieser Form aus einem musikalischen Instrumente hervorgegangen ist oder ob sie sich unterwegs aus zwei oder 15 mehreren Wellenzügen zusammengesetzt hat.

Was tut nun das Ohr, löst es sie auf oder fasst es sie als Ganzes? — Die Antwort darauf kann nach dem Sinne der Frage verschieden ausfallen; denn wir müssen hier zweierlei unterscheiden. Erstens, die Empfindung° 20 im Hörnerven, wie sie sich ohne Einmischung geistiger Tätigkeit entwickelt; zweitens, die Vorstellung,° welche wir uns bilden infolge dieser Empfindung. Wir müssen also gleichsam unterscheiden: das leibliche Ohr des Körpers und das geistige Ohr des Vorstellungs- 25 vermögens.° Das leibliche Ohr tut immer genau dasselbe, was der Mathematiker tut vermittelst des Fourier'schen Satzes, und was das Klavier mit einer zusammengesetzten Tonmasse tut: es löst die Wellenformen, welche nicht, wie die Stimmgabeltöne, schon 30

ursprünglich der einfachen Wellenform entsprechen, in eine Summe von einfachen Wellen auf; es empfindet den Ton einzeln, welcher einer einfachen Welle zugehört, mag nun die Welle ursprünglich als solche aus der Tonquelle hervorgegangen sein oder sich erst unterwegs zusammengesetzt haben.

Schlagen wir zum Beispiel eine Saite an, so gibt sie, wie wir schon gesehen haben, einen Klang, dessen Wellenform weit abweicht von der eines einfachen Tones. Indem das Ohr diese Wellenform zerlegt in eine Summe einfacher Wellen, hört es zugleich eine Reihe einfacher Töne, die diesen Wellen entsprechen.

Die Saiten bieten ein besonders günstiges Beispiel für eine solche Untersuchung, weil sie während ihrer Bewegung sehr verschiedene Formen annehmen können, die, wie die Wellenformen der Luft, als aus einfachen Wellen zusammengesetzt angesehen werden können. Fig. 3 zeigt eine Anzahl Schwingungsformen einer Saite, welche einfachen Tönen entsprechen; die ausgezogene° Linie bezeichnet die weiteste Ausbiegung der Saite nach der einen, die punktierte° Linie die nach der anderen Richtung hin. Bei *a* gibt die Saite ihren Grundton, den tiefsten einfachen Ton, den sie geben kann, sie schwingt in ganzer Länge bald nach der einen, bald nach der anderen Seite. Bei *b* zerfällt sie in zwei schwingende Abteilungen, zwischen denen ein ruhender, sogenannter Knotenpunkt° *β* bleibt; der Ton ist dann die höhere Oktave des Grundtones, wie ihn auch jede ihrer beiden Abteilungen für sich geben würde, und macht doppelt so viele Schwingungen als der Grundton. Bei *c* haben wir zwei Knotenpunkte, drei schwingende Abteilungen und dreimal so viele Schwingungen als beim Grundton, also die Duodecime° von diesem; bei *d* vier Abteilungen und viermal so viele Schwingungen, die zweite höhere Oktave des Grundtones.

Ebenso können nun auch noch Schwingungsformen mit 5, 6, 7 und mehr schwingenden Abteilungen vorkommen, deren Schwingungszahl im Verhältnis dieser Zahlen grösser ist als die des Grundtones, und alle anderen Schwingungsformen der Saite können betrachtet werden als zusammengesetzt aus einer Summe solcher einfachen Schwingungen.

Alle mit Knotenpunkten versehenen Schwingungsformen der Saite kann man hervorbringen, wenn man in einem der betreffenden Knotenpunkte die Saite leise mit dem Finger oder einem Stäbchen berührt, während man sie, sei es mit dem Bogen, sei es

durch Reissen° mit dem Finger oder durch Anschlag mit einem Klavierhammer zum Tönen bringt. Es gibt dies die sogenannten Flageolettöne der Saiten, wie sie von Violinspielern vielfach gebraucht werden.

Wenn man nun eine Saite irgendwie zum Tönen gebracht hat 5 und sie dann einen Augenblick leicht mit dem Finger bei β Fig. 3 *b* in ihrem Mittelpunkte berührt, so werden die Schwingungsformen *a* und *c* durch diese Berührung gehindert und gedämpft, die

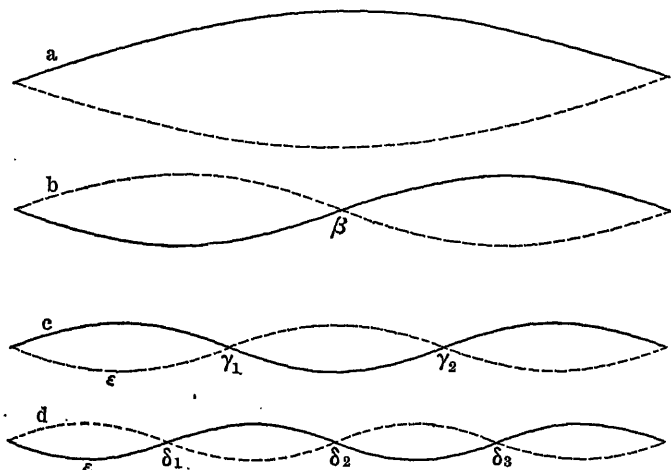



Fig. 3.

Schwingungsformen *b* und *d* aber, bei denen der Punkt β ruht, werden durch die Berührung nicht gehemmt, sondern fahren fort 10 zu tönen. So kann man leicht erkennen, ob gewisse Glieder aus der Reihe der einfachen Töne einer Saite bei einer gegebenen Anschlagsweise in deren Klang enthalten sind, und kann sie dem Ohre einzeln hörbar machen.

Hat man diese einfachen Töne aus dem Klange der Saite in 15 solcher Weise einzeln hörbar gemacht, so gelingt es bei genauer Aufmerksamkeit auch bald, sie in dem unveränderten Klange der ganzen Saite zu unterscheiden.

Die Reihe der Töne, welche sich hierbei zu einem gegebenen Grundton gesellen, ist übrigens eine ganz bestimmte; es sind die 20 Töne, welche zwei-, drei-, vier und mehr mal so viele Schwingungen

machen als der Grundton. Man nennt sie die *harmonischen Obertöne°* des Grundtones. Nennen wir den letzteren, *c*, so wird ihre Reihe in Notenschrift wie folgt gegeben.

Wie die Saiten, so geben fast alle anderen musikalischen Instrumente Tonwellen, die nicht genau der reinen Wellenform entsprechen, sondern sich aus einer grösseren oder geringeren Zahl von einfachen Wellen zusammensetzen. Das Ohr analysiert sie alle nach dem *Fourier*'schen Satze, trotz[1] dem besten Mathematiker, und hört bei gehöriger Aufmerksamkeit die den einzelnen einfachen Wellen entsprechenden Obertöne heraus. Dies entspricht auch ganz unserer Annahme° über das Mitschwingen der *Corti*'schen Organe.[2] Es lehrt nämlich sowohl die Erfahrung am Klaviere als auch die mathematische Theorie für alle mittönenden Körper, dass nicht bloss der Grundton, sondern ebenso die vorhandenen Obertöne des erregenden Tones das Mitschwingen bewirken. Daraus folgt, dass auch in der Schnecke° des Ohres jeder äussere Ton nicht bloss das seinem Grundton entsprechende Plättchen° und die zugehörigen Nervenfasern in Mitschwingung setzen, sondern dass er auch diejenigen Teile, welche den Obertönen entsprechen, erregen wird, so dass letztere ebenso gut empfunden werden müssen als der Grundton.

Danach ist ein einfacher Ton ein solcher, der durch einen Wellenzug von der reinen Wellenform erregt

wird. Alle anderen mehrfachen Tonempfindungen, wie sie von den meisten musikalischen Instrumenten hervorgebracht werden, sind von anderen Wellenformen erregt.

Daraus folgt, dass, streng genommen,[1] für die Empfindung alle Töne der musikalischen Instrumente als Akkorde mit vorwiegendem Grundton zu betrachten sind.

Diese ganze Lehre von den Obertönen wird Ihnen vielleicht neu und seltsam vorkommen. Die wenigsten unter Ihnen, so oft Sie auch Musik gehört oder selbst gemacht haben und eines so guten musikalischen Gehörs Sie sich auch erfreuen, werden dergleichen Töne schon wahrgenommen haben, die nach meiner Darstellung fortdauernd und immer vorhanden sein sollen. Es ist in der Tat immer ein besonderer Akt der Aufmerksamkeit notwendig, um sie zu hören, sonst bleiben sie verborgen. Alle unsere sinnlichen° Wahrnehmungen° sind nämlich nicht bloss Empfindungen der Nervenapparate, sondern es gehört noch eine eigentümliche Tätigkeit der Seele dazu, um von der Empfindung des Nerven aus zu der Vorstellung° desjenigen äusseren Objektes zu gelangen, welches die Empfindung erregt hat. Die Empfindungen unserer Sinnesnerven° sind uns Zeichen für gewisse äussere Objekte, und wir lernen zum grossen Teil erst durch Einübung die richtigen Schlüsse von den Empfindungen auf die entsprechenden Objekte zu ziehen. Nun ist es ein allgemeines Gesetz aller unserer Sinneswahrnehmungen, dass wir nur so weit auf unsere Sinnesempfindungen achten, als sie uns

dazu dienen können, die äusseren Objekte zu erkennen; wir sind in dieser Beziehung alle, mehr als wir vermuten, höchst einseitige und rücksichtslose Anhänger des praktischen Nutzens.[1] Alle Empfindungen, welche nicht direkten Bezug auf äussere Objekte haben, pflegen wir im gewöhnlichen Gebrauche der Sinne vollständig zu ignorieren, und erst bei der wissenschaftlichen Untersuchung der Sinnestätigkeit werden wir darauf aufmerksam oder auch bei Krankheiten, wo wir unsere Aufmerksamkeit mehr auf die Erscheinungen° unseres Körpers richten. Wie oft bemerken Patienten erst dann, wenn sie von einer leichten Augenentzündung befallen sind, dass ihnen Körnchen und Fäserchen, sogenannte fliegende Mücken,[2] im Auge herumschwimmen, und machen sich hypochondrische Gedanken darüber, weil sie für neu halten, was sie meistens während ihres ganzen Lebens schon vor den Augen gehabt haben.

In dieselbe Klasse von Erscheinungen gehören die Obertöne. Es ist nicht genug, dass der Hörnerv den Ton empfindet; die Seele muss auch noch darauf reflektieren;° ich unterschied deshalb vorher das leibliche und das geistige Ohr.

Wir hören den Ton einer Saite immer begleitet von einer gewissen Kombination von Obertönen. Eine andere Kombination solcher Töne gehört zum Ton der Flöte, eine andere zu dem der menschlichen Stimme oder zum Heulen des Hundes. Ob eine Violine, eine Flöte, ob ein Mensch oder ein Hund in der Nähe sei, interessiert uns zu wissen, und unser Ohr übt sich, die

Eigentümlichkeiten dieser Töne genau zu unterscheiden. Durch *welche Mittel* wir sie aber unterscheiden, ist uns gleichgültig.

Ob die Stimme des Hundes die höhere Oktave oder die Duodecime° des Grundtones enthält, ist ohne praktisches Interesse und bildet kein Objekt für unsere Aufmerksamkeit. So gehen uns die Obertöne in die nicht näher zu bezeichnenden Eigentümlichkeiten des Tones auf,° die wir *Klangfarbe*° nennen. Da die Existenz der Obertöne von der *Wellenform* abhängt, sehen Sie auch, warum ich vorher sagen konnte, dass die *Klangfarbe* der *Wellenform* entspricht.

Am leichtesten hört man die Obertöne, wenn sie unharmonisch zum Grundtone sind, wie bei den Glocken. Die Kunst des Glockengusses besteht namentlich darin, der Glocke eine Form zu geben, bei welcher die tieferen und stärkeren Nebentöne harmonisch zum Grundtone werden, sonst klingt der Ton unmusikalisch, kesselähnlich; die höheren Töne bleiben jedoch immer unharmonisch, und der Glockenton ist deshalb zur künstlerischen Musik nicht geeignet.

Dagegen ergibt sich aus dem Gesagten, dass man die Obertöne desto schwerer hören wird, je häufiger man die zusammengesetzten Klänge gehört hat, in denen sie vorkommen. Das ist namentlich bei den Klängen der menschlichen Stimme der Fall, nach deren Obertönen viele und geschickte Beobachter vergebens gesucht haben.

In überraschender Weise wurde die eben vorgetragene Ansicht der Sache dadurch bestätigt, dass sich aus ihr

eine Methode herleiten liess, durch welche es mir gelang, nicht nur die Obertöne der menschlichen Stimme zu hören, sondern auch sie für andere Personen hörbar zu machen.

Es kommt[1] dabei nicht, wie man bisher glaubte, auf ein besonders ausgebildetes musikalisches Gehör, sondern nur darauf an, dass man die Aufmerksamkeit durch geeignete Mittel passend lenke.

Lassen Sie neben dem Klaviere durch eine kräftige Männerstimme den Vokal *O* auf das ungestrichene *es*[2] singen. Geben Sie ganz leise auf dem Klaviere das *b*[3] der nächst höheren eingestrichenen Oktave an und hören Sie genau auf den verklingenden Klavierton. Ist der angegebene Ton als Oberton in dem Stimmklang° enthalten, so schwindet der Klavierton scheinbar nicht, sondern das Ohr hört, als seine Fortsetzung, den entsprechenden Oberton der Stimme. So findet man bei passenden Abänderungen dieses Versuches, dass die verschiedenen Vokale sich durch ihre Obertöne von einander unterscheiden.

Untersucht man die Vokale der menschlichen Stimme, so erkennt man mit Hülfe der Resonatoren leicht, dass die Obertöne jedes einzelnen Vokales in gewissen Gegenden der Skala besonders stark sind; so zum Beispiel die des *O* in der Gegend des eingestrichenen b', die des *A* in der des zweigestrichenen b'', eine Oktave höher.

Folgender leicht anzustellender[4] Versuch zeigt, wie gleichgültig es ist, ob eine oder mehrere Tonquellen die verschiedenen einfachen Töne hervorbringen, welche in einem Vokal der menschlichen Stimme vereinigt sind:

Ein Klavier gibt bei gehobenem Dämpfer nicht bloss die Klänge durch Mitklingen wieder, die dieselbe Höhe haben, wie diejenigen, denen es nachklingt, sondern wenn Sie den Vokal *A* auf irgend eine Note des Klaviers hineinsingen, so tönt auch ganz deutlich *A* wieder her- 5 aus, und singen Sie *E*, *O* oder *U* hinein, so klingen die Saiten *E*, *O* und *U* nach. Es kommt nur darauf an,[1] dass Sie den Ton des Klaviers, den Sie singen wollen, recht genau treffen. Der Vokalklang kommt aber nur dadurch zustande, dass die höheren Saiten, welche den 10 harmonischen Obertönen des angegebenen Tones entsprechen, mitklingen. Lassen Sie den Dämpfer auf den Saiten ruhen, so gelingt der Versuch nicht.

So werden bei diesem Versuche durch den Ton einer Tonquelle, nämlich der Stimme, die Töne vieler Saiten 15 erregt, und diese bringen dadurch eine Luftbewegung hervor, die in Form, also auch in Klangfarbe, der des einfachen Tones gleich ist.

Wir haben bisher nur von Zusammensetzungen von Wellen verschiedener Länge gesprochen. Jetzt wollen 20 wir Wellen gleicher Länge, die in gleicher Richtung fortgehen, zusammensetzen. Das Resultat wird hier ganz verschieden sein, je nachdem die Berge der einen mit den Bergen der anderen zusammentreffen, wobei Berge von doppelter Höhe und Täler von doppelter Tiefe ent- 25 stehen oder Berge der einen mit Tälern der anderen. Wenn beide Wellenzüge gleiche Höhe haben, sodass die Berge gerade hinreichen, die Täler auszufüllen, so werden im letzten Falle Berge und Täler gleichzeitig verschwinden, die beiden Wellen werden sich gegenseitig 30

zerstören. Ebenso wie zwei Wasserwellenzüge können sich auch zwei Schallwellenzüge gegenseitig zerstören, wenn die verdichteten Teile des einen mit den verdünnten des anderen zusammenfallen. Diese merkwürdige
5 Erscheinung, wobei Schall den Schall gleicher Art zerstört, nennt man die Interferenz des Schalles.

Die Interferenz führt uns zu den sogenannten Schwebungen° der Töne. Wenn zwei gleichzeitig gehörte Töne genau gleiche Schwingungsdauer haben und im
10 Anfang ihre Wellenberge zusammenfallen, so werden sie auch fortdauernd zusammenfallen; wenn sie jedoch anfangs nicht zusammenfielen, so werden sie auch bei längerer Dauer nicht zusammenfallen.

Die beiden Töne werden sich entweder fortdauernd
15 verstärken oder fortdauernd schwächen. Wenn die beiden Töne aber nur annähernd° gleiche Schwingungsdauer haben und ihre Wellenberge anfangs zusammenfallen, so dass sie sich verstärken, so werden allmählich die Berge des einen denen des andern voreilen.[1] Es
20 werden Zeiten kommen, wo die Berge des einen in die Täler des anderen fallen; andere Zeiten, wo die voreilenden Wellenberge des ersten Tones Berge des anderen erreichen, und dies gibt sich kund durch abwechselnde Steigerungen° und Schwächungen des Tones, die wir
25 Schwebungen° oder Stösse° der Töne nennen. Man kann dergleichen Schwebungen oft hören, wenn zwei nicht ganz genau im Einklange befindliche Tonwerkzeuge dieselbe Note angeben. Ein verstimmtes Klavier, bei dem die zwei oder drei Saiten, die von derselben
30 Taste angeschlagen werden, nicht mehr genau zusammen-

stimmen, lässt sie deutlich hören. Recht langsam und regelmässig erfolgende Schwebungen klingen in getragener[1] Musik, namentlich in mehrstimmigem Kirchengesang, oft sehr schön, indem sie bald majestätischen Wogen gleich durch die hohen Gewölbe hinziehen, bald durch ein leichtes Beben dem Tone den Charakter der Inbrunst und Rührung verleihen. Je grösser die Differenz der Schwingungsdauer, desto schneller werden die Schwebungen. So lange nicht mehr als vier bis sechs Schwebungen in der Sekunde erfolgen, fasst das Ohr die abwechselnden Verstärkungen des Tones leicht einzeln auf. Bei noch kürzeren Schwebungen erscheint der Ton knarrend oder, wenn er hoch ist, schrill. Ein knarrender Ton ist ein durch schnelle Unterbrechungen geteilter Ton, ähnlich dem Buchstaben *R*, der dadurch entsteht, dass wir den Ton der Stimme durch Zittern des Gaumens oder der Zunge unterbrechen.

Werden die Schwebungen immer schneller, so wird es dem Ohre zunächst schwerer, sie einzeln zu hören, während noch eine Rauhigkeit des Tones bestehen bleibt. Zuletzt werden sie ganz unwahrnehmbar und verfliessen° wie die einzelnen Luftstösse, die einen Ton zusammensetzen, in eine kontinuierliche° Tonempfindung.

Während also jeder einzelne musikalische Ton für sich im Hörnerven eine gleichmässig anhaltende Empfindung hervorbringt, stören sich zwei ungleich hohe Töne gegenseitig und zerschneiden sich in einzelne Tonstösse, die im Hörnerven eine diskontinuierliche Erregung hervorbringen. Sie sind für das Ohr ebenso unangenehm, wie ähnliche intermittierende und schnell wiederholte

Reizungen° für andere empfindliche Organe, z. B. flakkerndes, glitzerndes Licht für das Auge oder das Kratzen einer Bürste für die Haut. Diese Rauhigkeit des Tones ist der wesentliche Charakter der Dissonanz. Am unangenehmsten ist sie dem Ohre, wenn die beiden Töne ungefähr um einen halben Ton auseinander stehen, wobei die Töne der mittleren Gegend der Skala etwa 20 bis 40 Stösse° in der Sekunde geben. Bei dem Unterschiede eines ganzen Tones ist die Rauhigkeit geringer, bei einer Terz° pflegt sie, wenigstens in den höheren Lagen° der Tonleiter, zu verschwinden. Die Terz kann daher als Konsonanz erscheinen. Auch wenn die Grundtöne so weit von einander entfernt sind, dass sie keine hörbaren Schwebungen mehr hervorbringen, so können noch Schwebungen der Obertöne eintreten und den Klang rauh machen. Wenn z. B. zwei Töne eine Quinte° bilden, d. h. der eine zwei, der andere drei Schwingungen in gleicher Zeit vollendet, so haben beide unter ihren Obertönen einen Ton, der in derselben Zeit sechs Schwingungen macht. Ist nun das Verhältnis der Grundtöne genau 2 zu 3, so sind auch die beiden Obertöne von sechs Schwingungen genau gleich und stören die Harmonie der Grundtöne nicht; ist jenes Verhältnis nur angenähert° wie 2 zu 3, so sind die beiden Obertöne nicht genau gleich, sondern es entstehen Schwebungen und der Ton wird rauh.

Die Gelegenheit, solche Schwebungen unreiner Quinten,° die übrigens nur langsam dahin wogen, zu hören, ist sehr häufig, weil auf dem Klavier und der Orgel bei unserm jetzigen Stimmungssystem alle Quinten unrein

sind. Bei richtig gelenkter Aufmerksamkeit oder besser noch mit Hülfe eines passend gestimmten Resonators erkennt man leicht, dass der bezeichnete Oberton wirklich in Schwebung begriffen ist. Die Schwebungen sind natürlich schwächer als die der Grundtöne, weil die schwebenden Obertöne schwächer sind. Wenn wir auch meistens nicht zum klaren Bewusstsein dieser schwebenden Obertöne kommen, so empfindet doch das Ohr ihre Wirkung als eine Ungleichförmigkeit° oder Rauhigkeit des Gesamttones, während eine vollkommen reine Quinte, für deren Töne das Verhältnis der Schwingungszahlen genau wie 2 zu 3 ist, vollkommen gleichmässig fortklingt, ohne irgend welche Veränderungen, Verstärkungen, Schwächungen oder Rauhigkeiten des Tones.

Ebenso klingen uns Töne, deren Schwingungszahlen sich genau wie 3 zu 4 oder wie 4 zu 5 zu einander verhalten — welche also eine reine Quarte oder reine Terz bilden — besser als solche, die von diesem Verhältnisse etwas abweichen. Es gehören also zu einem gegebenen Tone als Grundton ganz genau bestimmte andere Tonstufen, die, ohne eine Ungleichmässigkeit oder Rauhigkeit des Tones hervorzubringen, mit ihm zusammenklingen° können, oder die wenigstens durch ihren Zusammenklang mit dem ersten Tone eine geringere Rauhigkeit hervorbringen als alle etwas grösseren oder etwas kleineren Tonintervalle.

Dadurch ist es bedingt, dass die neuere Musik, welche sich wesentlich auf die Harmonie konsonierender° Töne aufbaut, gezwungen ist, in ihrer Skala nur gewisse, genau bestimmte Tonstufen zu gebrauchen. Aber auch

für die ältere einstimmige Musik, welche der Harmonie entbehrt, lässt sich nachweisen, dass Fortschritte° in gewissen bestimmten Intervallen bevorzugt werden mussten wegen der in allen musikalischen Klängen enthaltenen Obertöne, und dass durch einen gemeinsam in zwei Tönen einer Melodie enthaltenen Oberton eine gewisse, dem Ohre fühlbare Verwandtschaft dieser Töne entsteht, welche ein künstlerisches Verbindungsmittel derselben bildet. Doch ist die Zeit zu knapp, dies hier weiter auszuführen; wir würden dabei genötigt sein, weit in die Geschichte der Musik zurückzugehen.

Erwähnt sei nur, dass noch eine andere Art von Beitönen° besteht, die K o m b i n a t i o n s t ö n e,° welche nur gehört werden, wenn zwei oder mehrere starke Töne verschiedener Höhe zusammenklingen, und dass auch diese unter Umständen Schwebungen° und Rauhigkeiten des Zusammenklanges hervorbringen können. Wenn man mit vollkommen rein gestimmten Orgelpfeifen oder auf der Violine die Terz c' e' (Schwingungsverhältnis 4 : 5) angibt, so hört man gleichzeitig schwach das *C* als Kombinationston erklingen, welches zwei Oktaven tiefer ist als c'. Dasselbe *C* erklingt auch, wenn man gleichzeitig die Töne e' und g' (Schwingungsverhältnis 5 : 6) angibt.

Gibt man nun die drei Töne c', e' und g' gleichzeitig an und ist ihr Verhältnis genau wie 4 : 5 : 6, so hat man zweimal den Kombinationston *C* in vollkommenem Einklange und ohne Schwebungen. Wenn aber die drei Noten nicht ganz genau so gestimmt sind, wie es jenes Zahlenverhältnis fordert, so sind die beiden Kombi-

nationstöne *C* etwas verschieden und geben leise Schwebungen.

Die Kombinationstöne sind in der Regel viel schwächer als die Obertöne, ihre Schwebungen deshalb viel weniger merkbar und rauh als die der Obertöne, so dass 5 sie nur bei solchen Klangfarben° in betracht kommen, welche fast gar keine Obertöne haben, wie bei den gedachten° Pfeifen der Orgel und bei den Flöten. Aber es ist unverkennbar, dass eine harmonische Musik, die mit solchen Instrumenten ausgeführt wird, kaum einen 10 Unterschied zwischen Harmonie und Disharmonie bietet, und dass sie eben deshalb unserm Ohre charakterlos und weichlich klingt. Alle guten musikalischen Klangfarben sind verhältnismässig reich an Obertönen, namentlich an den fünf ersten Obertönen, welche Oktaven, 15 Quinten und Terzen des Grundtones bilden. In den Mixturen° der Orgel setzt man der Hauptpfeife absichtlich Nebenpfeifen hinzu, welche der Reihe der harmoni schen Obertöne in der den Hauptton gebenden Pfeife entsprechen, um eine durchdringendere und kräftigere 20 Klangfarbe zur Begleitung des Gemeindegesanges zu erhalten. Auch hierbei ist unverkennbar, welche wichtige Rolle die Obertöne bei der künstlerischen Wirkung der Musik spielen.

So sind wir also zum Kern der Harmonielehre vorge- 25 drungen. Harmonie und Disharmonie scheiden sich dadurch, dass in der ersteren die Töne nebeneinander so gleichmässig abfliessen, wie jeder einzelne Ton für sich, während in der Disharmonie Unverträglichkeit stattfindet und die Töne sich gegenseitig in einzelne 30

Stösse° zerteilen. Man wird einsehen, dass zu diesem Resultate alles früher Besprochene zusammenwirkt. Zunächst beruht das Phänomen° der Stösse oder Schwebungen auf Interferenz der Wellenbewegung; es konnte deshalb dem Schalle nur darum zukommen, weil er eine Wellenbewegung ist. Andererseits war für die Feststellung der konsonierenden Intervalle die Fähigkeit des Ohres, Obertöne empfinden und zusammengesetzte Wellensysteme nach dem *Fourierschen* Satze in einfache auflösen zu können, notwendig. Dass bei den musikalisch brauchbaren Tönen die Obertöne zum Grundtone im Verhältnisse der ganzen Zahlen zu Eins stehen und dass die Schwingungsverhältnisse der harmonischen Intervalle deshalb den kleinsten ganzen Zahlen entsprechen, beruht ganz in dem *Fourierschen* Satze. Wie wesentlich die genannte physiologische Eigentümlichkeit des Ohres ist, wird namentlich klar, wenn wir es mit dem Auge vergleichen. Auch das Licht ist eine Wellenbewegung eines besonderen, durch den Weltraum verbreiteten Mittels,° des Lichtäthers;° auch das Licht zeigt die Erscheinungen der Interferenz. Auch das Licht hat Wellen von verschiedener Schwingungsdauer, die das Auge als verschiedene Farben empfindet, z. B. die mit grösster Schwingungsdauer als rot; dann folgen die Farben orange, gelb, grün, blau und violett, dessen Schwingungsdauer etwa halb so gross ist als die des äussersten Rot. Aber das Auge kann zusammengesetzte Lichtwellensysteme, d. h. zusammengesetzte Farben, nicht von einander scheiden; es empfindet sie in einer nicht aufzulösenden, einfachen Empfindung,

der[1] einer Mischfarbe. Es ist ihm deshalb gleichgültig, ob in der Mischfarbe Grundfarben von einfachen oder nicht einfachen Schwingungsverhältnissen vereinigt sind. Es hat keine Harmonie in dem Sinne wie das Ohr; es hat keine Musik. 5

Die Ästhetik sucht das Wesen des künstlerisch Schönen[2] in seiner unbewussten Vernunftmässigkeit.° Ich habe Ihnen heute das verborgene Gesetz, das den Wohlklang der harmonischen Tonverbindungen bedingt,° aufzudecken gesucht. Es ist recht eigentlich ein unbewuss- 10 tes, soweit es in den Obertönen beruht, die zwar vom Nerven empfunden werden, gewöhnlich jedoch nicht in das Gebiet des bewussten Vorstellens[3] eintreten; deren Verträglichkeit oder Unverträglichkeit jedoch gefühlt wird, ohne dass der Hörer wüsste, wo der Grund seines 15 Gefühles liegt.

Die Erscheinungen des rein sinnlichen Wohlklanges[4] sind freilich erst der niedrigste Grad des musikalisch Schönen. Für die höhere, geistige Schönheit der Musik sind Harmonie und Disharmonie nur Mittel, aber we- 20 sentliche und mächtige Mittel. In der Disharmonie fühlt sich der Hörnerv° von den Stössen unverträglicher Töne gequält; er sehnt sich nach dem reinen Abfluss° der Töne in der Harmonie und drängt zu ihr hin, um in ihr besänftigt zu verweilen.[5] So treiben und beruhigen 25 beide abwechselnd den Fluss der Töne,[6] in dessen unkörperlicher Bewegung das Gemüt ein Bild der Strömung seiner Vorstellungen° und Stimmungen schaut. Ähnlich wie beim Anblick der wogenden See wird es hier durch die sich rhythmisch wiederholende und doch immer 30

wechselnde Weise der Bewegung gefesselt und mit ihr fortgetragen. Aber während dort die mechanischen Naturkräfte nur blind walten und darum in der Stimmung des Anschauenden schliesslich der Eindruck des
5 Wüsten° überwiegt, so folgt in dem musikalischen Kunstwerk die Bewegung den Strömungen der erregten Seele des Künstlers. Bald sanft dahinfliessend,[1] bald anmutig hüpfend, bald heftig aufgeregt, von den Naturlauten der Leidenschaft durchzuckt oder gewaltig arbeitend,[2] über-
10 trägt der Fluss der Töne ungeahnte Stimmungen, die der Künstler seiner eigenen Seele abgelauscht° hat, in ursprünglicher Lebendigkeit in die Seele des Hörers, um ihn endlich in den Frieden ewiger Schönheit emporzutragen, zu dessen Verkündern unter den Menschen die
15 Gottheit nur wenige ihrer erwählten Lieblinge geweiht hat.

Hier aber sind die Grenzen der Naturforschung und gebieten mir Halt.

ÜBER DAS SEHEN DES MENSCHEN

Vortrag gehalten zu Königsberg.

Geehrte Versammlung! Es hat uns hier das Andenken eines Mannes vereint, der vielleicht mehr als irgend ein anderer dazu beigetragen hat, den Namen unserer Stadt unauflöslich mit der Kulturgeschichte° der Menschheit zu verknüpfen, das Andenken Kants,[1] des 5 Philosophen. Ihm wünschen wir ein Denkmal zu setzen, welches fortan verkünden soll, dass unsere Zeit und diese Stadt eine dankbare und ehrende Erinnerung für Männer hat, denen sie wissenschaftlichen Fortschritt und Belehrung verdankt. Ihm will auch ich durch 10 meine heutige Bemühung einen Zoll° der Achtung und Verehrung darzubringen suchen.

Ich habe deshalb einen Gegenstand gewählt, an dem Sie erkennen sollen, wie die Gedanken des grossen Philosophen auch noch gegenwärtig in Zweigen der Wissen- 15 schaft fortleben und sich entwickeln, wo man es vielleicht nicht erwartet haben sollte. Die prinzipielle° Spaltung, welche jetzt Philosophie und Naturwissenschaften trennt, bestand noch nicht zu Kants Zeiten. Kant stand in Beziehung auf die Naturwissenschaften 20

mit den Naturforschern auf genau denselben Grundlagen; er selbst interessierte sich lebhaft für Newtons[1] Theorie der Bewegungen der Weltkörper, für dieses grossartigste Gedankenwerk,° welches der menschliche
5 Verstand bis dahin erbaut hatte, in welchem aus der einfachsten Grundlage, der allgemeinen Gravitationskraft, sich in strengster Folgerichtigkeit° die unendliche Mannigfaltigkeit der himmlischen Bewegungen entwickelt, und welches gleichsam als das Vorbild für alle späteren
10 naturwissenschaftlichen Theorien betrachtet werden kann. Ja, Kant versuchte selbst, ganz in Newtons Sinne, eine Hypothese über die Entstehung unseres Planetensystems unter der Einwirkung der Gravitationskraft auszubilden, ein Versuch, der uns sogar berech-
15 tigen könnte, den Philosophen auch unter die Zahl der Naturforscher zu setzen.

Der Punkt, an dem sich Philosophie und Naturwissenschaften am nächsten berühren, ist die Lehre von den sinnlichen° Wahrnehmungen° des Menschen.°
20 Ich will mich daher bemühen, Ihnen die Resultate der Naturwissenschaften für das Sinnesorgan° darzulegen, dessen Verrichtungen° bisher am vollständigsten untersucht werden konnten; dieses Organ ist das Auge. Sie werden dann selbst urteilen können, in welchem Ver-
25 hältnisse hier die Ergebnisse der Erfahrung zu denen der Philosophen stehen.

Das Auge ist ein von der Natur gebildetes optisches Instrument, eine natürliche Camera obscura. Ich setze voraus, dass der grösste Teil meiner Zuhörer schon Da-
30 guerresche[2] oder photographische Bilder hat anfertigen

sehen und sich das Instrument ein wenig betrachtet hat, welches dazu gebraucht wird. Dieses Instrument ist eine Camera obscura. Sein Bau ist ausserordentlich einfach; es ist im wesentlichen nichts als ein innen geschwärzter Kasten von Holz, an dessen einer Seite eine Glaslinse eingesetzt ist und auf dessen entgegengesetzter Seite sich eine mattgeschliffene[1] Glastafel befindet. Wenn die Seite des Kastens, welche die Linse enthält, nach irgend einem gut beleuchteten entfernteren Gegenstande hingewendet wird, sieht man ein verkleinertes, bei richtiger Einstellung° des Instrumentes sehr scharf gezeichnetes und mit den natürlichen Farben geschmücktes, aber auf dem Kopfe stehendes Bild des Gegenstandes auf der matten Glastafel entworfen. Nachdem der Photograph seinem Instrumente die richtige Stellung gegeben hat, entfernt er die Glastafel und bringt an ihre Stelle die bearbeitete Silberplatte,[2] sodass sich auf dieser dasselbe Bild entwirft wie vorher auf der Glasplatte. Auf der Silberplatte bleibt das Bild sichtbar erhalten, weil ihre Oberfläche an den helleren Teilen des Bildes durch die Einwirkung des Lichtes eigentümlich verändert wird. Die allgemein bekannten Lichtbilder° sind also in der Tat nur fixierte Bilder einer Camera obscura.

Ein eben solches Instrument ist nun das Auge; der einzige wesentliche Unterschied von demjenigen, welches beim Photographieren gebraucht wird, besteht darin, dass statt der matten Glastafel oder lichtempfindlichen Platte im Hintergrunde des Auges die empfindliche Nervenhaut° oder Netzhaut° liegt, in welcher das Licht Empfindungen hervorruft, die durch die im Sehnerven

zusammengefassten Nervenfasern° der Netzhaut dem Gehirn, als dem körperlichen Organe des Bewusstseins, zugeführt werden. In der äusseren Form weicht die natürliche Camera obscura von der künstlichen wohl ab. Statt des viereckigen Holzkastens finden Sie den runden Augapfel, dessen feste Wand von einer weissen Sehnenhaut° gebildet wird, deren vorderen Teil wir auch am lebenden Menschen als das Weisse des Auges erblicken. Die schwarze Farbe, mit der der Kasten der Camera obscura innen angestrichen° ist, ersetzt am Auge eine zweite, feinere, braunschwarz gefärbte Haut, die Aderhaut.° Von ihr sehen wir am lebenden Auge ebenfalls nur das vordere Ende, nämlich die Iris, den blauen oder braunen Kreis, welcher die mittlere, dunkelschwarze Öffnung, die Pupille,[1] umgibt. Die Iris ist auf ihrer hinteren Seite tiefschwarz wie die übrige Aderhaut, auf der vorderen Seite aber, welche wir erblicken, liegen ungefärbte oder wenig gefärbte Schichten. Die blaue Farbe der Iris entsteht nicht durch einen besonderen Farbstoff, sondern hat denselben Grund wie die blaue Farbe verdünnter Milch, sie ist weisslichen, trüben Mitteln° eigentümlich, welche vor einem dunkeln Grunde stehen. Die braune Farbe entsteht dagegen durch Ablagerung° kleiner Mengen desselben braunschwarzen Farbstoffes in den vorderen Schichten der Iris, welcher ihre hintere Fläche bedeckt. Daher kann die Färbung auch wechseln, wenn sich mit der Zeit Farbstoff in der Iris ablagert. Schon Aristoteles[2] berichtet, dass alle Kinder mit blauen Augen geboren würden, auch wenn sie später braune bekämen. Sie sehen, dass in alter

Zeit auch die Philosophen zu beobachten wussten.

Der schwarze Kreis in der Mitte des braunen oder blauen Kreises, die sogenannte Pupille, ist also eine Öffnung, durch welche das Licht in den hinteren Teil des Auges eindringt. Ist die Lichtmenge zu gross, so wird die Pupille enger, ist sie sehr gering, so wird sie weiter. Vor der Pupille liegt uhrglasförmig gewölbt[1] die durchsichtige Hornhaut,° deren Oberfläche durch die über sie hinsickernde Tränenfeuchtigkeit[2] und das Blinzeln der Augenlider stets spiegelblank erhalten wird. Hinter der Pupille liegt noch ein sehr klarer, durchsichtiger, linsenförmiger° Körper, die Krystalllinse,° dessen Anwesenheit im lebenden Auge nur schwache Lichtreflexe° verraten. Das Innere des Auges ist übrigens mit Flüssigkeit gefüllt. Die Krystalllinse im Verein mit der gekrümmten Fläche der Hornhaut vertritt im Auge die Stelle der Glaslinse in der Camera obscura des Photographen. Sie entwerfen verkleinerte, natürlich gefärbte, aber auf dem Kopfe stehende Bilder der äusseren Gegenstände auf der Fläche der Netzhaut,° welch letztere im Hintergrunde des Auges vor der Aderhaut° liegt. Um die Netzhaut des lebenden Auges zu sehen, habe ich vor einigen Jahren ein kleines optisches Instrument, den Augenspiegel,[3] konstruiert, mit dem man nun auch die Netzhautbilder im Auge eines andern direkt sehen und sich von ihrer Schärfe, Stellung u. s. w. überzeugen kann.

Wir sagten vorher, der Photograph müsse sein Instrument für den Gegenstand, den er abbilden will, richtig einstellen.° In der Tat findet man bei genauer Betrach-

tung der Bilder in der Camera obscura, dass, wenn ferne Gegenstände mit scharfen Umrissen abgebildet werden, nähere verwaschen° erscheinen, und umgekehrt.° Der Photograph muss die Linse seines Instruments der Tafel, auf der das Bild entworfen wird, etwas näher rücken, wenn er ferne Gegenstände, er muss sie etwas entfernen, wenn er nahe Gegenstände abbilden will. Etwas ähnliches kommt beim Auge vor. Dass Sie nicht gleichzeitig ferne und nahe Gegenstände deutlich sehen, davon überzeugen Sie sich am leichtesten und besten, wenn Sie einen Schleier etwa sechs Zoll von den Augen entfernt halten und das eine Auge schliessen. Sie können dann willkürlich° und ohne die Richtung des Blickes zu ändern, bald durch den Schleier hin ferne Gegenstände betrachten, wobei Ihnen der Schleier nur noch als eine verwaschene Trübung° des Gesichtsfeldes erscheint, Sie aber nicht die einzelnen Fäden des Schleiers erkennen, oder Sie können die Fäden des Schleiers betrachten, wobei Sie aber nicht mehr die Gegenstände des Hintergrundes deutlich erkennen. Man fühlt bei diesem Versuche eine gewisse Anstrengung im Auge, indem man von einem zum andern Gesichtspunkte übergeht. In der Tat wird dabei die Form der Krystalllinse durch besondere, im Auge liegende Muskelapparate willkürlich geändert. Diese Veränderung, vermöge deren sich das Auge willkürlich bald für nahe, bald für ferne Gegenstände einrichten kann, nennt man die A k k o m m o d a t i o n für die Nähe oder die Ferne. Auch die Veränderungen der Bilder bei veränderter Akkommodation kann man durch den Augenspiegel direkt beobachten.

Ich verweile hier noch einen Augenblick dabei, was für ein Bewenden[1] es mit dem optischen Bilde im Auge und mit den optischen Bildern überhaupt habe. Lichtstrahlen, welche aus einem durchsichtigen Mittel° in ein anderes übergehen, z. B. aus Luft in Glas oder aus Luft in die Augenflüssigkeiten,[2] werden von ihrer früheren Richtung abgelenkt, sie werden „*gebrochen*“, wenn sie nicht gerade senkrecht gegen die Trennungsfläche° auffallen. Die Glaslinse der Camera obscura und die durchsichtigen Mittel des Auges verändern nun den Weg der Lichtstrahlen, welche von *einem* lichten Punkte eines abgebildeten Gegenstandes ausgegangen sind, so, dass sie alle in *einem* Punkte, dem entsprechenden Punkte des Bildes, sich wieder vereinigen. Liegt dieser Vereinigungspunkt der Lichtstrahlen in der Fläche der Netzhaut,° so wird dieser Punkt der Netzhaut von *allem* Lichte getroffen, welches von dem entsprechenden Punkte des Gegenstandes her in das Auge fällt, und nichts von diesem Lichte fällt auf andere Teile der Netzhaut. Ebensowenig wird aber auch jener Punkt von Licht getroffen, welches von irgend einem anderen Punkte des Gegenstandes ausgegangen wäre. Also der betreffende Punkt der Netzhaut empfängt *alles* Licht und *nur* das Licht, welches von dem entsprechenden Punkte des abgebildeten Gegenstandes her in das Auge gefallen ist. Sendet dieser Punkt des Gegenstandes viel Licht aus, so wird der entsprechende Punkt der Netzhaut stark beleuchtet, sendet er wenig aus, so wird der letztere dunkel sein. Sendet der eine Punkt rotes Licht aus, so wird der andere Punkt rot, wenn grünes, grün

beleuchtet sein u. s. w. So entspricht also jedem Punkte der Aussenwelt ein besonderer Punkt des Bildes, der eine entsprechende Stärke der Beleuchtung und die gleiche Farbe hat, und so entspricht insbesondere im Auge beim deutlichen Sehen jeder einzelne Punkt der Netzhaut einem einzelnen Punkte des äusseren Gesichtsfeldes, so dass er nur von dem Lichte, welches von diesem äusseren Punkte hergekommen ist, getroffen und zur Empfindung angeregt wird. Da somit jeder einzelne Punkt des Gesichtsfeldes durch sein Licht nur einen einzelnen Punkt der empfindenden Nervensubstanz affiziert, so kann auch für jeden äusseren Punkt gesondert zum Bewusstsein kommen, welche Menge und Farbe des Lichtes ihm angehört. Es wird durch diese Einrichtung des Auges, als eines optischen Apparates, möglich, die verschiedenen hellen Gegenstände unserer Umgebung gesondert wahrzunehmen, und je vollkommener der optische Teil des Auges seinen Zweck erfüllt, desto schärfer ist die Unterscheidung der Einzelheiten des Gesichtsfeldes.

Auf diesen physikalischen Teil der Vorgänge des Sehens, den ich nur als die Grundlage für das Verständnis des Folgenden berühren musste, will ich hier nicht weiter eingehen, so mannigfache interessante Fragen und Tatsachen er auch darbietet. Nur eines will ich erwähnen als Beispiel, wie unser Bild von der Aussenwelt auch durch den Bau des physikalischen Teiles unseres Auges bestimmt wird. Die Sterne erscheinen uns strahlig;° „sternförmig“ ist in unserer Sprache von gleicher Bedeutung wie „strahlig.“ In Wahrheit sind die Sterne

von runder Gestalt und meist so klein, dass wir überhaupt von ihrer Gestalt nichts erkennen können, sie müssten uns als unteilbare Punkte erscheinen. Die Strahlen bekommt das Bild des Sternes aber weder in dem Weltenraume,° noch in unserer Atmosphäre, sondern damit wird es erst in unserer Krystalllinse geschmückt, welche einen strahligen Bau hat; die Strahlen, die wir den Sternen zuerteilen, sind also in Wahrheit Strahlen unserer Krystalllinse.

Wir sind also jetzt soweit gekommen, dass auf der Fläche der Netzhaut ein optisches Bild entworfen wird, wie es auch in jeder Camera obscura geschieht. Aber die letztere *sieht* dieses Bild nicht, das Auge *sieht* es. Worin liegt da der Unterschied? Er liegt darin, dass die Netzhaut, welche im Auge das optische Bild empfängt, ein empfindlicher Teil unseres Nervensystems ist und dass durch die Einwirkung des Lichtes, als eines äusseren Reizes,° in ihr Lichtempfindung hervorgerufen wird. Was wissen wir nun über die Erregung der Lichtempfindung durch das Licht?

Die ältere und scheinbar natürlichste Ansicht war, dass die Netzhaut des Auges eine viel grössere Empfindlichkeit habe als irgend ein anderer Nervenapparat des Körpers und deshalb auch die Berührung eines so feinen Agens° wie das Licht empfinde. Dass die Art des Eindruckes, den das Licht auf das Auge macht, so ganz verschieden ist von der Tonempfindung, von der Wärmeempfindung, von den Empfindungen der Haut für Hartes, Weiches, Rauhes, Glattes u. s. w., schien sich einfach dadurch zu erklären, dass das Licht eben etwas an-

deres sei als der Ton, die Wärme, als ein harter oder weicher, rauher oder glatter Körper, und man fand es in der Ordnung, dass jedes Ding, je nach seinen verschiedenen Eigenschaften, auch eigentümlich empfunden 5 werde.

Dabei waren nun allerdings einige unbequeme Erscheinungen° vorhanden, die man gern als unbedeutend beiseite liegen liess und nicht beachtete. Wenn man das Auge drückt oder schlägt, treten Lichterscheinungen 10 auf, auch in der tiefsten Dunkelheit. Elektrische Ströme, durch das Auge geleitet, erzeugen ebenfalls Lichterscheinungen. Ja, wir brauchen so gewaltsame Mittel nicht einmal anzuwenden; wer im vollständigsten Dunkel mit geschlossenen Augen Aufmerksamkeit auf sein 15 Gesichtsfeld wendet, bemerkt darin allerlei wunderliche krause, gesternte oder streifige, verschiedenfarbige Figuren, die fortdauernd wechseln und ein phantastisches regelloses Spiel ausführen; sie werden heller und schöner gefärbt, wenn man das Auge reibt, oder wenn erre- 20 gende Getränke oder Krankheiten das Blut zum Kopfe treiben, aber sie fehlen niemals ganz. Man nennt sie den Lichtstaub° des dunkeln Gesichtsfeldes.

Als man sich zuerst die Mühe nahm, diese Erscheinungen zu beachten und sie erklären zu wollen, meinte 25 man, hier könne wohl durch innere Prozesse Licht im Auge erzeugt werden. Man erklärte dies durch eine geheimnisvolle Verwandtschaft des Nervenfluidum° der Netzhaut mit dem Lichte, vermöge deren eine Erregung des einen auch das andere erzeugen könne. Die leuch- 30 tenden Augen der Katzen und Hunde schienen den Be-

Sache sich eigentlich verhält; wir wissen, unsere Vorstellung hat eine Schlussfolgerung,° welche sich Millionen Male als richtig erwies, unrichtiger Weise auf einen Fall angewendet, auf den sie nicht passt. Nun sollte unsere Vorstellung doch billiger Weise ein Einsehen haben[1] und uns nicht mehr das falsche Bild eines Lichtscheins auf dem Nasenrücken vorspiegeln, sondern den Lichtschein dahin verlegen, wo die Lichtempfindung erregt ist. Wir wiederholen den Versuch nun mit der wissenschaftlich gesicherten Überzeugung, die Lichtempfindung finde am äusseren Augenwinkel statt. Hat sich unsere Vorstellung belehren lassen? Wir werden gestehen müssen, nein. Sie beträgt sich wie der ungelehrigste aller Schüler, sie lässt die arme Lehrerin Wissenschaft reden, so lange sie will, und bleibt hartnäckig bei ihrer Aussage stehen, der Lichtschein sitze doch auf dem Nasenrücken.

So ist es auch bei allen anderen Sinnestäuschungen, von welchen ich noch reden werde. Sie verschwinden niemals dadurch, dass wir ihren Mechanismus einsehen, sondern bleiben in ungestörter Kraft bestehen.

Eine andere Reihe von Täuschungen über den Ort des gesehenen Gegenstandes entsteht, wenn das Licht nicht ungestört von dem Gegenstande zum Auge gelangen konnte, sondern auf spiegelnde oder lichtbrechende Körper gestossen ist. Der bekannteste Fall dieser Art ist die Spiegelung an den gewöhnlichen ebenen Spiegeln. Das Licht, welches auf einen Spiegel fällt, wird von diesem so zurückgeworfen, als käme es von Gegenständen her, die ebenso weit hinter der Spiegelebene° liegen, wie

die wirklich vorhandenen Gegenstände vor ihr. Fällt das gespiegelte Bild in das Auge, so wird es in diesem natürlich ebenso gebrochen, und trifft eben dieselben Netzhautpunkte, wie es Licht tun würde, welches von wirklichen Körpern ausgegangen wäre, die sich an dem scheinbaren Orte der optischen Bilder des Spiegels befänden. Unsere sinnliche° Vorstellung konstruirt sich also auch sogleich die den Spiegelbildern entsprechenden wirklichen Körper und legt ihnen denselben Grad von Bestimmtheit und Evidenz bei, wie den direkt gesehenen Körpern. Auch hier erhält sich die scheinbare Lebhaftigkeit und die scheinbare räumliche Lage[1] des Bildes, trotzdem unser Verstand von seiner Nicht-Existenz überzeugt ist.

Ähnlich verhält es sich mit dem Fernrohr und dem Mikroskop. In ihren Gläsern wird das Licht derart gebrochen, dass es, wenn es das Instrument verlassen hat, weiter geht, als käme es von einem vergrösserten Gegenstande her, und der Beobachter, welcher durch das Instrument sieht, glaubt nun wirklich diesen vergrösserten Gegenstand zu sehen.

Nach der Stelle unserer Netzhaut, in welcher Lichtempfindung angeregt wird, beurteilen wir also, in welcher Richtung sich die verschiedenen hellen Gegenstände, die uns umgeben, befinden, in welche Teile des Gesichtsfeldes wir sie zu setzen haben. Wir erhalten dadurch ein perspektivisches Bild der Aussenwelt, wie auch das optische Bild auf unserer Netzhaut ein solches perspektivisches Bild ist. Ein richtiges perspektivisches Bild von Gegenständen, die eine regelmässige, uns wohl

bekannte Form haben, lässt uns allerdings auch ein ziemlich gutes Urteil über die Tiefendimensionen der dargestellten Gegenstände fassen, namentlich wenn noch eine richtige Beleuchtung und Schattengebung° hinzukommt. Deshalb genügen gute perspektivische 5 Zeichnungen von Maschinenteilen, von Gebäuden u. s. w., weil wir wissen, dass die Zeichnung Gegenstände von regelmässiger, kugeliger, zylindrischer oder prismatischer Grundgestalt darstellen soll. Bei unregelmässig gebildeten Gegenständen dagegen gewähren die perspek- 10 tivischen Zeichnungen nur sehr unvollkommene Anschauung[1] der Tiefendimension. In der Landschaftsmalerei hilft noch die sogenannte Luftperspektive, d. h. die Veränderung des Farbentones und der Klarheit der Umrisse, welche durch die dazwischenliegenden Luft- 15 schichten verursacht wird. Wodurch unterscheidet sich nun eine perspektivische Zeichnung von der direkten Ansicht des Gegenstandes selbst, welche uns unsere Augen liefern, und warum erkennen wir beim direkten Sehen die körperlichen Verhältnisse so sehr viel besser und sicherer? 20

Die Antwort liefert uns ein optisches Instrument, das ein beliebter Gegenstand der Unterhaltung für das Publikum geworden ist, nämlich das von dem englischen Physiker Wheatstone[2] erfundene Stereoskop. Dieses Instrument gibt perspektivischen Zeichnungen die voll- 25 ste Lebendigkeit der Tiefenanschauung, selbst solchen Zeichnungen, an denen man bei der direkten Betrachtung durchaus nicht entscheiden kann, welche Teile vorne, welche hinten liegen sollen und um wie viel der eine Teil hinter dem andern liegt. 30

Die Prinzipien des Stereoskops sind einfach folgende: Wenn wir irgend einen Gegenstand, eine Landschaft, ein Zimmer oder dergleichen betrachten, dessen verschiedene Teile in verschiedener Entfernung liegen, so gewinnen wir von verschiedenen Standpunkten verschiedene Ansichten. Diejenigen Gegenstände des Vordergrundes, welche, von dem ersten Standpunkte gesehen, irgend eine bestimmte Stelle des Hintergrundes bedeckten, decken vom zweiten Standpunkt aus andere Stellen. Flächen, die vom ersten Standpunkte stark verkürzt° erschienen, erscheinen vom zweiten weniger verkürzt, und umgekehrt. Wenn wir also von zwei verschiedenen Standpunkten aus perspektivische Ansichten desselben körperlich ausgedehnten Gegenstandes aufnehmen, so sehen diese Ansichten nicht gleich aus, sondern unterscheiden sich um so mehr, je verschiedener die Standpunkte sind. Die allervollkommenste perspektivische Zeichnung desselben Gegenstandes wird aber ihr Ansehen nicht wesentlich verändern, wenn wir sie nacheinander von verschiedenen Standpunkten aus betrachten. Die Gegenstände des Vordergrundes der Zeichnung dekken immer genau dieselben Stellen ihres Hintergrundes, die Flächen, welche einmal verkürzt erscheinen, bleiben verkürzt.

Nun hat der Mensch zwei Augen, welche fortdauernd die Welt von zwei verschiedenen Standpunkten aus betrachten, welche also auch fortdauernd zwei verschiedene perspektivische Ansichten dem Bewusstsein zur Begutachtung darbieten,[1] so oft sie einen körperlich ausgedehnten Gegenstand[2] wahrnehmen. Wenn dagegen

beide Augen eine perspektivische Zeichnung des Gegenstandes betrachten, die auf einer ebenen Fläche ausgeführt ist, so erhalten beide dasselbe perspektivische Bild. Dadurch werden wir befähigt, den wirklichen Gegenstand von seiner Abbildung zu unterscheiden, 5 möge letztere auch noch so getreu und vollkommen sein.

Wenn wir aber nun zwei perspektivische Zeichnungen desselben Gegenstandes anfertigen, welche den Ansichten des rechten und linken Auges entsprechen, und 10 dann jedem Auge die betreffende Zeichnung in einer richtigen Lage zeigen, so hört der wesentliche Unterschied zwischen der Ansicht des Gegenstandes und seiner Abbildung auf, und wir glauben nun, statt der Zeichnungen in der Tat die Gegenstände zu sehen. 15

Dies leistet das Stereoskop. Zu den stereoskopischen Darstellungen gehören also immer je zwei Zeichnungen desselben Gegenstandes, welche von zwei verschiedenen Standpunkten aus aufgenommen sind. Der optische Teil des Instruments, der äusserst verschieden eingerich- 20 tet sein kann, leistet weiter nichts, als dass er die beiden verschiedenen Zeichnungen scheinbar an denselben Ort verlegt. Ja, wer im Schielen geübt ist, braucht gar keine optischen Hülfsmittel. Wenn man einfach die beiden Zeichnungen nebeneinander legt und so lange 25 schielt, bis von den dabei entstehenden doppelten Bildern die beiden mittleren sich decken, so tritt die stereoskopische Täuschung ein.

Am lehrreichsten sind stereoskopische Darstellungen von körperlichen Figuren, welche aus einfachen Linien 30

und Punkten zusammengesetzt sind, weil hier alle anderen Hülfsmittel für die Beurteilung der Tiefendimension fehlen und daher die Täuschung selbst und ihr Grund am augenscheinlichsten hervortritt. Am wunderbarsten aber, wegen der ausserordentlichen Lebhaftigkeit der Täuschung, sind die zuerst von Moser[1] ersonnenen und ausgeführten stereoskopischen Darstellungen von Landschaften, Statuen und menschlichen Figuren, welche mittelst der Photographie gewonnen werden.

So konstruieren wir uns also die Raumverhältnisse° der uns umgebenden Gegenstände fortdauernd aus zwei verschiedenen perspektivischen Ansichten, welche uns unsere beiden Augen von ihnen liefern. Der Einäugige entbehrt dieses Vorteils; so lange er sich nicht von der Stelle bewegt, erkennt er seine Umgebung nur insoweit richtig, als man dies aus einem vollkommen getreuen Gemälde erkennen könnte. Nur wenn er sich fortbewegt, lernt er die Ansichten verschiedener Standpunkte kennen und die Raumverhältnisse sicher beurteilen. Man kann also sagen, solange er stille sitzt, sieht er nicht die Welt, sondern nur ein perspektivisches Gemälde der Welt. Er kann deshalb auch vom Stereoskop keinen Vorteil ziehen, weil die Täuschung beim Gebrauche dieses Instruments auf dem gleichzeitigen Gebrauche beider Augen beruht.

So erklärt sich auch die Schwierigkeit eines von der Jugend zuweilen geübten Spieles. Man hängt einen Ring an einem Faden auf. Einer der Spielenden setzt sich so, dass er den Ring von der schmalen Seite sieht, und hat die Aufgabe, während er ein Auge schliesst, ein

Stäbchen durch den Ring zu schieben. Gewöhnlich gelingt es ihm, zum Gelächter der andern, erst nach vielen vergeblichen Bemühungen, während die Aufgabe mit zwei offenen Augen ganz leicht zu lösen ist.

Von den Momenten,° welche wir zur Beurteilung der 5 Raumverhältnisse gebrauchen, ist schliesslich noch eines zu erwähnen. Wir beurteilen die Richtung, aus der das Licht herkommt, nach der Stelle der Netzhaut,° welche davon getroffen wird. Aber die Stelle des Bildes auf der Netzhaut ändert sich, wenn man das Auge bewegt. 10 Es muss also auch noch die Stellung des Auges im Kopfe bekannt sein, wenn wir richtig auf die Raumverhältnisse schliessen sollen. Jede Bewegung des Auges, die nicht infolge unseres Willenseinflusses entsteht oder nicht so ausgeführt wird, wie wir es durch unseren Willen beabsichtigt haben, stört daher unser Urteil über die Lage 15 der uns umgebenden Gegenstände. Schliesst man ein Auge und drückt und zerrt man am anderen, so treten sogleich scheinbare Bewegungen der gesehenen Gegenstände ein. Durch den äusseren mechanischen Einfluss 20 wird hier das Auge verschoben, ohne dass wir genau beurteilen können, in welcher Richtung und wie weit dies geschieht; die optischen Bilder verschieben sich dabei auf der Netzhaut und wir schliessen daraus auf eine Bewegung der Gegenstände. Haben wir bei diesem Ver- 25 suche beide Augen geöffnet, so erblickt das unbewegte Auge den Gegenstand fest und unverrückt,° während das gedrückte oder gezerrte Auge ein zweites bewegliches Bild desselben daneben sieht. In dieses Gebiet gehören auch die Scheinbewegungen,° welche beim 30

Schwindel eintreten. Sie erklären sich grösstenteils daraus, dass die Wirkung der Muskeln, die das Auge bewegen, falsch beurteilt wird. Ein Fieberkranker, dem die Gegenstände zu tanzen scheinen, wenn er die Augen 5 bewegt, weil er die Wirkung seiner Augenmuskeln auf die Stellung des Auges falsch beurteilt, findet daher Erleichterung, sobald er sie fest auf einen Punkt geheftet hält, weil dann der Grund dieser Scheinbewegungen fortfällt. Jemand, der sich schnell im Kreise gedreht 10 hat, sieht, wenn er wieder still steht, die Gegenstände seiner Umgebung in entgegengesetzter Richtung eine Scheinbewegung ausführen. Jemand, der, in der Eisenbahn sitzend, längere Zeit die Gegenstände, an denen er vorüberfährt, betrachtet hat und nun in den Wagen hin- 15 einblickt, glaubt, die Gegenstände im Wagen in der entgegengesetzten Richtung bewegt zu sehen. Jemand, der einige Zeit auf der See gefahren ist, glaubt nachher am Lande ähnliche Bewegungen des Zimmers zu sehen, wie sie in der Kajüte des Schiffes stattfanden. In diesen 20 Fällen hat sich eine falsche Gewöhnung des Urteils ausgebildet. Während die wirkliche Bewegung stattfand, musste der Beobachter, wenn er einen Gegenstand fixieren wollte, seine Augen mitbewegen. So entstand nun eine neue Art von Einübung bei ihm, die ihn lehrte, 25 welchen Grad von Spannung er den Augenmuskeln geben musste, um einen Gegenstand zu fixieren. Hört nun die wirkliche Bewegung auf, so wird er in derselben Weise fortfahren, die Gegenstände zu fixieren. Jetzt aber tritt bei derselben Spannung der Muskeln eine Ver- 30 schiebung des Netzhautbildes ein, da die Gegenstände

sich nicht mehr in entsprechender Weise mit den Augen
bewegen, und der Beobachter urteilt deshalb, dass die
stillstehenden Gegenstände sich bewegen, bis er sich
wieder auf die Fixation feststehender Gegenstände ein-
geübt hat. Es ist diese Art der Scheinbewegungen na- 5
mentlich deshalb interessant, weil sie lehrt, wie schnell
eine veränderte Einübung in der Deutung der Sinnes-
wahrnehmungen° eintreten kann.

Wie wenig wir überhaupt bei dem täglichen prakti-
schen Gebrauche unserer Sinnesorgane an die Rolle 10
denken, welche diese dabei spielen, wie ausschliesslich
uns nur das von ihren Wahrnehmungen interessiert, was
uns über Verhältnisse der Aussenwelt Nachricht ver-
schafft, und wie wenig wir solche Wahrnehmungen
berücksichtigen, welche dazu nicht geeignet sind, dafür 15
noch einige Beispiele. Wenn wir einen Gegenstand
genau betrachten wollen, so richten wir die Augen so
auf ihn, dass wir ihn deutlich und einfach sehen. Wenn
wir dann ein Auge durch einen Druck mit dem Finger
seitlich verschieben, entstehen, wie ich schon erwähnte, 20
Doppelbilder des Gegenstandes, weil wir nun nicht
mehr die Bilder beider Augen in dieselbe Stelle des Ge-
sichtsfeldes verlegen.° Aber während wir den einen
Gegenstand fixieren,° passt die Stellung unserer Augen
nicht mehr für alle Gegenstände, welche näher oder fer- 25
ner liegen, als der fixierte, und alle diese Gegenstände
erscheinen uns doppelt. Man halte einen Finger nahe
vor das Gesicht und sehe nach dem Finger; achtet man
nun gleichzeitig auf die Gegenstände des Hintergrundes,
so erscheinen diese doppelt, und sieht man nach einem 30

Punkte des Hintergrundes, so erscheint der Finger doppelt. Wir können also nicht zweifeln, dass wir fortdauernd den grösseren Teil der Gegenstände des Gesichtsfeldes doppelt sehen, und doch merken wir das
5 gar nicht so leicht; vielleicht gibt es viele Personen, die es durch ihr ganzes Leben nicht gemerkt haben. Auch wenn wir es schon wissen, gehört immer noch ein besonderer Akt der Aufmerksamkeit dazu, um die Doppelbilder wahrzunehmen, während wir bei dem gewöhn-
10 lichen praktischen Gebrauche der Augen mit der grössten Beharrlichkeit von ihnen abstrahieren.[1]

Ferner, würden Sie wohl glauben, dass in jedem menschlichen Auge, ganz nahe der Mitte des Gesichtsfeldes, sich eine Stelle befindet, welche gar nichts sieht,
15 sondern vollständig blind ist, nämlich die Eintrittsstelle des Sehnerven? Und das sollten wir unser ganzes Leben lang nicht bemerkt haben? Wie ist das möglich? Es ist ebenso gut möglich, als dass jemand Monate, Jahre lang auf einem ganzen Auge blind sein kann und
20 es erst bei einer zufälligen Erkrankung des anderen Auges bemerkt. So auch mit dem normalen blinden Flecke[2] des Auges. Die blinden Flecke beider Augen fallen nicht auf denselben Teil des Gesichtsfeldes. Wo also das eine Auge nichts sehen kann, sieht das andere,
25 und auch wenn wir ein Auge schliessen, bemerken wir nicht so leicht den blinden Fleck, weil wir gewöhnlich, um etwas genau zu sehen, nur eine einzige, durch einen besonderen Bau ausgezeichnete Stelle der Netzhaut, die Stelle des direkten Sehens,[3] anwenden. Die Eindrücke,
30 welche von den übrigen Teilen des Gesichtsfeldes kom-

men, geben gleichsam nur eine flüchtige Skizze von der Umgebung des betrachteten Gegenstandes. Und da wir meistens den Blick auf den verschiedenen Teilen des Gesichtsfeldes umherschweifen lassen und die Gegenstände, welche uns interessieren, dabei nacheinander 5 fixieren, so werden wir, trotz des blinden Flecks, bei diesen Bewegungen mit allen Teilen des Gesichtsfeldes bekannt und nicht gehindert sein, alles wahrzunehmen, an dessen Wahrnehmung uns etwas liegt.

Um sich von dem Vorhandensein eines solchen 10 Fleckes zu überzeugen, muss man schon methodische Beobachtungen anstellen. Wenn man das linke Auge schliesst, ein Papierblatt in der Entfernung von 7 Zoll vor das rechte Auge hält und irgend einen bezeichneten Punkt der Papierfläche fixiert, so entspricht der blinde 15 Fleck der Stelle des Papiers, welche 2 Zoll nach rechts von dem Gesichtspunkte liegt. Befindet sich hier ein schwarzer Fleck, oder irgend ein kleiner Gegenstand, so sieht man diesen nicht, sondern die weisse Fläche des Papiers erscheint ununterbrochen[a]). 20

Die Grösse des blinden Flecks ist hinreichend, um uns am Himmel eine Scheibe, welche einen zwölfmal

[a]) Der Leser wird den Versuch an der beistehenden Figur leicht ausführen können.

\+ ●

Er schliesse das linke Auge, blicke mit dem rechten nach dem 25 Kreuzchen und entferne das Papierblatt etwa 7 Zoll vom Auge, so wird ihm die schwarze Kreisfläche verschwinden. Nähert er das Papier dem Auge oder entfernt er es mehr, so kommt sie wieder zum Vorschein. Man achte aber ja darauf, stets das Kreuzchen zu fixieren. 30

grösseren Durchmesser hätte als der Mond, verdecken zu können. Ein menschliches Gesicht kann er verdecken, wenn sich dieses in 6 Fuss Entfernung befindet. Sie sehen, dass seine Grösse verhältnismässig gar nicht unbedeutend ist.

Diese Tatsachen bestätigen, was ich vorher aussprach, dass wir von unseren Sinneswahrnehmungen beim unbefangenen Gebrauche der Sinne nur das berücksichtigen, was uns Aufschluss° über die Aussenwelt gibt. Aber neuere Untersuchungen über den blinden Fleck geben uns ausserdem noch interessante Aufschlüsse über die Rolle, welche psychische Prozesse schon bei den einfachen Sinneswahrnehmungen spielen. Bringen wir in die dem blinden Fleck entsprechende Stelle des Gesichtsfeldes irgend ein Objekt, welches kleiner ist als der blinde Fleck, so sehen wir es überhaupt nicht, sondern füllen die Lücke mit der Farbe des Grundes aus, wie das namentlich in dem beschriebenen Versuche mit dem schwarzen Fleck auf weissem Papiere geschieht. Fällt der blinde Fleck auf einen Teil irgend einer Figur, so ergänzen wir die Figur, und zwar so, wie es den am häufigsten uns vorkommenden Figuren ähnlicher Art entspricht. Fällt der blinde Fleck z. B. auf einen Teil einer schwarzen Linie auf weissem Grunde, so setzt die Einbildungskraft die Linie auf dem kürzesten Wege durch den blinden Fleck hin fort, auch dann, wenn in Wahrheit an der Stelle die wirkliche Linie eine Lücke oder Ausbiegung haben sollte.

Fällt der blinde Fleck auf die Mitte eines Kreuzes, so ergänzt die Einbildungskraft den mittleren Teil und

wir glauben ein Kreuz zu sehen, selbst in dem Falle, wo in Wahrheit die vier Schenkel° in der Mitte gar keine Verbindung haben sollten u. s. w.

Sind verschiedene Auslegungen gleich geläufig, so schwankt die Vorstellung° oft zwischen der einen und 5 anderen, sie kann aber nicht durch den Willen gezwungen werden, die eine oder die andere zu wählen.

Wenn beide Augen geöffnet sind, so entscheiden wir im allgemeinen nach den Wahrnehmungen des sehenden Auges. Halte ich ein Papier mit einem roten Flecke so 10 vor mich hin, dass der rote Fleck vom rechten Auge nicht gesehen wird, so wird er doch vom linken gesehen, und ich glaube deshalb, ein Papier mit einem roten Flecke wahrzunehmen, was auch der Wirklichkeit entspricht. In anderen Fällen entscheiden wir aber 15 nicht unbedingt nach den Wahrnehmungen des sehenden Auges. Wenn ich nun ein ganz weisses Papier nehme und vor das linke Auge ein rotes Glas halte, so erscheint das ganze Papier gleichmässig rötlich-weiss, ohne dass die dem blinden Flecke des rechten Auges 20 entsprechende Stelle sich durch ein besonderes Ansehen auszeichnete. Und doch sind die unmittelbaren Empfindungen, welche sich auf diese Stelle beziehen, jetzt in beiden Augen genau dieselben wie vorher, als das Papier mit dem roten Flecke betrachtet wurde; nämlich 25 das rechte Auge sieht hier gar nichts, das linke reines Rot. Trotzdem erscheint diese Stelle nicht rein rot, sondern wie das ganze übrige Papier, weiss mit einem schwachen rötlichen Scheine. Der Unterschied liegt nur darin, dass jetzt dem linken Auge nicht bloss die 30

eine Stelle, sondern die ganze Papierfläche rein rot erscheint. Die dem blinden Flecke des rechten Auges entsprechende Stelle zeichnet sich im linken nicht durch ihre Farbe vor dem anderen Papiere aus, und das
5 Urteil findet deshalb keinen Grund, jener Stelle eine besondere Beschaffenheit beizulegen. Hier finden wir also einmal einen Fall, wo die Einbildungskraft, trotz der gleichen Sinneseindrücke, sich durch das Urteil bestimmen lässt, dieselben verschieden und richtig zu
10 deuten.

Das Feld der sogenannten Gesichtstäuschungen° ist noch ungemein reich. Die angeführten Beispiele werden aber genügen, Ihnen die Eigentümlichkeiten der Wahrnehmungen unseres Auges und unserer Sinne überhaupt
15 anschaulich zu machen.

Ich habe bisher immer gesagt, die Vorstellung° in uns urteile, schliesse, überlege u. s. w., habe mich aber wohl gehütet zu sagen, w i r urteilen, schliessen, überlegen; denn ich habe schon anerkannt, dass diese Akte ohne
20 unser Wissen vor sich gehen und auch nicht durch unseren Willen und unsere bessere Überzeugung abgeändert werden können. Dürfen wir denn nun, was hier geschieht, dieses Denken ohne Selbstbewusstsein und nicht unterworfen der Kontrolle der selbstbewussten In-
25 telligenz wirklich als Prozesse des Denkens bezeichnen? Dazu kommt, dass die Genauigkeit und Sicherheit in der Konstruktion unserer Gesichtsbilder so gross, so augenblicklich und unzweifelhaft ist, wie wir sie unseren Schlussfolgerungen° zuzutrauen eigentlich nicht geneigt
30 sind. Denn so sehr wir uns auch mit der Macht un-

seres Verstandes brüsten, so belegen[1] wir doch im gemeinen Leben und in den nicht mathematischen Wissenschaften zu oft[2] dasjenige mit dem Namen eines Schlusses, was eigentlich nur ein Erraten oder eine wahrscheinliche Annahme° ist, als dass wir nicht geheime Zweifel 5 hegen müssten gegen die Zuverlässigkeit solcher Schlussfolgerungen, die nicht auf Erfahrung gestützt sind. Und was die Schnelligkeit der Schlussfolgerungen betrifft, so sind diese auch da, wo wir absolute Zuverlässigkeit erreichen können, wie in mathematischen Folgerungen 10 und Rechnungen, so schwerfällig, umständlich und langsam, dass sie mit den blitzschnellen Auffassungen° unseres Auges nicht im entferntesten[3] verglichen werden können.

Die Natur der psychischen Prozesse zu bestimmen, 15 welche die Lichtempfindung in eine Wahrnehmung° der Aussenwelt verwandeln, ist eine schwere Aufgabe. Leider finden wir bei den Psychologen keine Hülfe, weil für die Psychologie die Selbstbeobachtung bisher der einzige Weg des Erkennens° gewesen ist, wir es aber 20 hier mit geistigen Tätigkeiten zu tun haben, von denen uns die Selbstbeobachtung gar keine Kunde gibt, deren Dasein wir vielmehr erst aus der physiologischen Untersuchung der Sinneswerkzeuge° schliessen können. Die Psychologen haben daher die geistigen Akte, von denen 25 hier die Rede ist, auch meist unmittelbar zur sinnlichen Wahrnehmung gerechnet und keinen näheren Aufschluss über sie zu erhalten gesucht.

Diejenigen, welche sich nicht entschliessen mochten, dem Denken und Schliessen eine Rolle bei den sinn- 30

lichen Wahrnehmungen einzuräumen, kamen zunächst zu der Annahme, dass das Bewusstsein aus dem Auge hinaustrete, längs des Lichtstrahls bis zu dem gesehenen Objekte sich hinbreite und dieses an Ort und Stelle wahrnehme.

Namentlich huldigten dieser Lehre die Anhänger des tierischen Magnetismus,[1] welche überhaupt ihre ganze Theorie auf die Annahme einer den menschlichen Körper umgebenden Nervenatmosphäre gebaut hatten. Sie liessen das Nervenfluidum° bekanntlich Reisen zu den entferntesten Teilen der Erde und selbst des Weltalls antreten, um dort auszukundschaften, was der neugierige Magnetiseur zu wissen wünschte. Obgleich aber die beschriebene Vorstellung° vom Sehen der sinnlichen Anschauung[2] des gemeinen Lebens mehr entsprechen möchte, lässt sie sich nicht halten. Denn warum merkt es das ausströmende Nervenprinzip oder Bewusstsein nicht, dass nur der Finger die Netzhaut gedrückt hat und draussen gar kein Licht sei? und was geschieht ihm, wenn es draussen auf einen Spiegel stösst? wird das Bewusstsein von ihm nach denselben Gesetzen wie das Licht zurückgeworfen? und warum täuscht es sich nachher über den Ort des durch den Spiegel gesehenen Körpers? Wir verwickeln uns in die grössten Absurditäten, wenn wir dieser Hypothese nachgehen; eben deshalb hat dieselbe niemals Eingang in die ernstere Wissenschaft erlangen können.

Wenn aber das Bewusstsein nicht unmittelbar am Orte der Körper selbst diese wahrnimmt, so kann es nur durch einen Schluss zu ihrer Kenntnis kommen. Denn

nur durch Schlüsse können wir überhaupt das erkennen, was wir nicht unmittelbar wahrnehmen. Dass es nicht ein mit Selbstbewusstsein vollzogener Schluss sei, darüber sind wir einig. Vielmehr hat er mehr den Charakter eines mechanisch eingeübten, der in die Reihe der 5 unwillkürlichen Ideenverbindungen[1] eingetreten ist, wie solche zu entstehen pflegen, wenn zwei Vorstellungen sehr häufig miteinander verbunden vorgekommen sind. Dann ruft jedesmal die eine mit einer gewissen Naturnotwendigkeit° die andere hervor. Denken Sie an einen 10 gewandten Schauspieler, der uns die Kleidung, die Bewegungen und Sitten der Person, welche er darstellt, getreu vorführt. Wir werden uns allerdings jeden Augenblick darauf besinnen können, dass das, was wir auf der Bühne sehen, nicht die Person der Rolle, sondern der 15 Schauspieler N.[2] sei, den wir auch schon in andern Rollen gesehen haben, aber diese Vorstellung, als ein Akt des freien und selbstbewussten Denkens, wird doch die Täuschung nicht beseitigen, welche uns fortdauernd die Vorstellung von der Person der Rolle lebendig erhält. 20 Wir werden der Person auf der Bühne unwillkürlich fortdauernd die Gefühle zumuten, welche der Rolle entsprechen, und eine danach eingerichtete Handlungsweise erwarten.[3] Ja, bei der höchsten Vollendung dramatischer Darstellung kommt uns nicht einmal die Kunst des 25 Schauspielers zum Bewusstsein, weil wir das, was er tut, ganz natürlich finden, und nur durch den Vergleich mit ungeschickten Mitschauspielern, bei denen wir an die stattfindende Täuschung fortdauernd durch Züge erinnert werden, welche der Person des Schauspielers und 30

nicht der der Rolle angehören, lernen wir einen Schauspieler ersten Ranges schätzen.

Gerade so ist es bei den optischen Täuschungen, wenn wir ihren Mechanismus einsehen. Wir wissen in solchen Fällen, dass die Vorstellung, welche der sinnliche Eindruck in uns hervorruft, unrichtig ist; das hindert aber nicht, dass diese Vorstellung in all ihrer Lebhaftigkeit bestehen bleibt. Und während es beim Schauspieler vielleicht nur konventionelle Formen der Kleidung, Bewegung, Sprechweise sind, die die Täuschung erhalten, und wir höchstens bei leidenschaftlichen Aufregungen an eine natürliche Verbindung des Gefühls und seiner Zeichen, welche der Schauspieler vorführt, denken können, so haben wir es bei den Sinneswahrnehmungen° mit einer Verbindung von Vorstellungen zu tun, welche durch die Natur unserer Sinne selbst bedingt° ist, also auch viel seltenere Ausnahmen zulässt als die Formen der menschlichen Sitte. Unser ganzes Leben hindurch haben wir in millionenfacher Wiederholung erfahren, dass, wenn in gewissen Nervenfasern° unserer beiden Augen, bei einer gewissen Stellung derselben, ein Gegenstand Lichtempfindung erregte, wir den Arm so weit ausstrecken mussten oder eine bestimmte Zahl von Schritten gehen mussten, um ihn zu erreichen. Dadurch ist denn die unwillkürliche Verbindung zwischen dem bestimmten Gesichtseindruck° und der Entfernung und Richtung, in welcher der Gegenstand zu suchen ist, hergestellt. Deshalb entsteht und erhält sich die Vorstellung eines solchen Gegenstandes, wenn uns z. B. das Stereoskop die entsprechenden Gesichtseindrücke her-

vorruft, auch gegen unsere besser begründete Überzeugung, gerade wie uns die Kleider und Bewegungen des Schauspielers die lebendige Anschauung[1] der Person der Rolle aufrecht erhalten. Im letzteren Falle ist die Verbindung zwischen dem Äusseren und dem Wesen der Person, z. B. zwischen männlichen Kleidern und einem Manne, doch rein konventionell, nicht einmal durch Naturnotwendigkeit gegeben, also jedenfalls nur angelernt, nicht angeboren. Was die Beurteilung der Entfernung durch die Augen betrifft, so können wir wohl ebenfalls nicht zweifeln, dass diese durch Einübung angelernt sei. Wir sehen deutlich bei jungen Kindern, dass sie ganz falsche Vorstellungen von den Entfernungen der Gegenstände haben, die sie erblicken, und mancher von Ihnen wird sich vielleicht aus seiner Jugend noch Begebnisse zurückrufen können, bei denen er in grober Täuschung über die Entfernungen war. Ich entsinne mich selbst noch deutlich des Augenblickes, wo mir das Gesetz der Perspektive aufging, dass entfernte Dinge klein aussehen. Ich ging an einem hohen Turme vorbei, auf dessen oberster Gallerie sich Menschen befanden, und mutete meiner Mutter zu, mir die niedlichen Püppchen herunter zu langen, da ich durchaus der Meinung war, wenn sie den Arm ausrecke, werde sie nach der Gallerie des Turmes hingreifen können. Später habe ich noch oft nach der Gallerie jenes Turmes emporgesehen, wenn sich Menschen darauf befanden, aber sie wollten dem geübteren Auge nicht mehr zu niedlichen Püppchen werden.

Durch das Prinzip der Einübung, der Erziehung un-

serer Sinnesorgane erklärt sich auch die Sicherheit und Genauigkeit in der Raumkonstruktion[1] unserer Augen. Mit welcher die künstlichsten Maschinen übertreffenden Genauigkeit[2] wir lernen können, die Organe unseres Körpers zu gebrauchen, das zeigen die Übungen des Jongleurs,° die Stösse° gewandter Billardspieler. Wir alle sind, so zu sagen, Jongleurs mit den Augen; denn wir haben uns jedenfalls viel anhaltender und länger in der Beurteilung unserer Gesichtsobjekte geübt als unsere gymnastischen Künstler in ihren Kugelspielen° und Balanzierübungen; wir erregen mit unserer Kunstfertigkeit nur deshalb kein Aufsehen, weil jeder andere dieselbe Reihe von Kunststücken ausführen kann.

Indem wir sehen *gelernt* haben, haben wir eben nur gelernt, die Vorstellung eines gewissen Gegenstandes mit gewissen Empfindungen zu verknüpfen, welche wir wahrnehmen. Die Mittelglieder,° durch welche die Empfindungen zustande kommen, interessieren uns dabei garnicht; ohne wissenschaftliche Untersuchung lernen wir sie auch garnicht kennen. Zu diesen Mittelgliedern gehört auch das optische Bild auf der Netzhaut.° Der Umstand, dass es auf dem Kopfe steht und wir die Gegenstände doch aufrecht sehen, hat viele Verwunderung und eine unendliche Menge unnützer Erklärungsversuche hervorgerufen. Wir haben durch Erfahrung gelernt: Lichtempfindung in gewissen Fasern des Sehnerven bezeichnet helle Gegenstände oben im Gesichtsfelde, Lichtempfindung in gewissen andern Fasern bezeichnet sie unten. Wo diese Fasern in der Netzhaut, im Sehnerven liegen, ist dabei ganz einerlei, wenn

wir nur imstande sind, den Eindruck der einen Faser von dem der andern zu unterscheiden. Dass es eine Netzhaut und optische Bilder darauf gebe, weiss ja der natürliche Mensch garnicht. Wie soll ihn da die Lage des optischen Bildes auf der Netzhaut irre machen können?

In wieweit übrigens die bloss erlernten oder die angeborenen und durch die Organisation des Menschen selbst wesentlich bedingten Verknüpfungen° von Vorstellungen bei dem Verständnis unserer Sinneswahrnehmungen in betracht kommen, lässt sich bis jetzt wohl kaum entscheiden. Bei Tieren beobachten wir instinktive Handlungen, die darauf hindeuten. Das neugeborene Kalb geht auf das Euter der Kuh zu, um zu saugen; das würde, wenn es mit Bewusstsein geschähe, ein Verständnis der Gesichtserscheinungen° und eine Kenntnis des Gebrauches seiner Füsse voraussetzen, die nicht erlernt sein könnten. Aber wer von uns kann sich in die Seele eines neugeborenen Kalbes versetzen, um den Mechanismus dieser instinktiven Handlungen zu verstehen?

Somit wäre das, was ich früher das Denken und Schliessen der Vorstellungen° genannt habe, nun doch wohl kein Denken und Schliessen, sondern nichts als eine mechanisch eingeübte Ideenverbindung°? Ich bitte Sie, noch einen letzten Schritt weiter mit mir zu machen, einen Schritt, der uns wieder auf unsern Anfang, auf Kant,[1] zurückführen wird. Wenn eine Verbindung zwischen der Vorstellung eines Körpers von gewissem Aussehen und gewisser Lage und unseren Sinnesempfindungen entstehen soll, so müssen wir doch erst die Vor-

stellung von solchen Körpern haben. Wie es aber mit dem Auge ist, so ist es auch mit den andern Sinnen; wir nehmen nie die Gegenstände der Aussenwelt unmittelbar wahr, sondern wir nehmen nur Wirkungen dieser Gegenstände auf unsere Nervenapparate wahr, und das ist vom ersten Augenblicke unseres Lebens an so gewesen. Auf welche Weise sind wir denn nun zuerst aus der Welt der Empfindungen unserer Nerven hinübergelangt in die Welt der Wirklichkeit? Offenbar nur durch einen Schluss; wir müssen die Gegenwart äusserer Objekte als Ursache unserer Nervenerregung voraussetzen; denn es kann keine Wirkung ohne Ursache sein. Woher wissen wir, dass keine Wirkung ohne Ursache sein könne? Ist das ein Erfahrungssatz°? Man hat ihn dafür ausgeben wollen;[1] aber wie man sieht, brauchen wir diesen Satz, ehe wir noch irgend eine Kenntnis von den Dingen der Aussenwelt haben; wir brauchen ihn, um nur überhaupt zu der Erkenntnis zu kommen, dass es Objekte im Raume um uns gibt, zwischen denen ein Verhältnis von Ursache und Wirkung bestehen kann. Können wir ihn aus der inneren Erfahrung unsers Selbstbewusstseins hernehmen? Nein; denn die selbstbewussten Akte unsers Willens und Denkens betrachten wir gerade als frei; d. h. wir leugnen, dass sie notwendige Wirkungen ausreichender Ursachen[2] seien. Also führt uns die Untersuchung der Sinneswahrnehmungen auch noch zu der schon von Kant gefundenen Erkenntnis, dass der Satz „Keine Wirkung ohne Ursache" ein vor aller Erfahrung gegebenes Gesetz unsers Denkens sei.

Es war der ausserordentlichste Fortschritt, den die Philosophie durch Kant gemacht hat, dass er das angeführte Gesetz und die übrigen eingeborenen Formen der Anschauung° und Gesetze des Denkens aufsuchte und als solche nachwies. Damit leistete er, wie ich schon vorher erwähnte, dasselbe für die Lehre von den Vorstellungen° überhaupt, was in einem engeren Kreise für die unmittelbaren sinnlichen° Wahrnehmungen auf empirischen Wegen die Physiologie durch Johannes Müller geleistet hat. Wie letzterer in den Sinneswahrnehmungen den Einfluss der besondern Tätigkeit der Organe nachwies, so wies Kant nach, was in unsern Vorstellungen von den besondern und eigentümlichen Gesetzen des denkenden Geistes herrühre. Sie sehen also, dass Kants Ideen noch leben und sich noch immer reicher entfalten, selbst in Gebieten, wo man ihre Früchte vielleicht nicht gesucht haben würde. Auch hoffe ich, Ihnen klar gemacht zu haben, dass sich der Gegensatz zwischen Philosophie und Naturwissenschaften nicht auf alle Philosophie überhaupt, sondern nur auf gewisse neuere Systeme[1] der Philosophie bezieht und dass das gemeinsame Band, das alle Wissenschaften verbinden soll, keineswegs durch die neuere Naturwissenschaft zerrissen ist. Ja, ich fürchte sogar, dass Sie auf meinen heutigen naturwissenschaftlichen Vortrag das Sprüchlein anwenden könnten, welches Mephistopheles eigentlich auf die Philosophen gemünzt hat:

> Dann lehret man euch manchen Tag,[2]
> Dass, was ihr sonst auf einen Schlag
> Getrieben, wie Essen und Trinken frei,
> Eins! Zwei! Drei! dazu nötig sei.

ÜBER DIE WECHSELWIRKUNG° DER NATURKRÄFTE UND DIE DARAUF BEZÜGLICHEN ERMITTELUNGEN DER PHYSIK

Vortrag gehalten zu Königsberg

Die Physik hat in neuester Zeit[1] eine Errungenschaft von sehr allgemeinem Interesse gemacht, von der ich mich bemühen will, im Folgenden eine Vorstellung zu geben. Es handelt sich[2] dabei um ein neues allgemeines Naturgesetz, das das Wirken sämtlicher Naturkräfte in ihren gegenseitigen Beziehungen zu einander beherrscht und das eine ebenso grosse Bedeutung für unsere theoretischen Vorstellungen von den Naturprozessen hat als es für die technische Anwendung derselben von Wichtigkeit ist.

Als von der Grenzscheide des Mittelalters und der neueren Zeit ab die Naturwissenschaften ihre schnelle Entwicklung begannen, machte unter den praktischen Künsten, die sich daran anschliessen,[3] auch die der technichen Mechanik, unterstützt durch die gleichnamige mathematische Wissenschaft, rüstige Fortschritte. Der Charakter der genannten Kunst war aber natürlich in jenen Zeiten von dem heutigen sehr verschieden. Überrascht und berauscht von ihren eigenen Erfolgen, verzweifelte sie in jugendlichem Übermute nicht an der

Lösung aller Probleme und machte sich zum Teil sogleich an die schwersten und verwickeltsten Aufgaben. So versuchte man denn auch sehr bald und mit vielem Eifer, lebende Menschen und Tiere in der Form sogenannter Automaten nachzubauen. Das Staunen des 5 vorigen Jahrhunderts waren Vaucansons[1] Ente, die frass und verdaute, desselben Meisters Flötenspieler, der alle Finger richtig bewegte, der schreibende Knabe des ältern und die Klavierspielerin des jüngern Droz,[2] welch letztere beim Spiele ihren Händen auch gleich- 10 zeitig mit den Augen folgte und nach beendeter Kunstleistung[3] aufstand, um der Gesellschaft eine höfliche Verbeugung zu machen. Es würde unbegreiflich sein, dass Männer, wie die genannten, deren Talent sich mit den erfindungsreichsten Köpfen unsers Jahrhunderts 15 messen kann, so viel Zeit und Mühe und diesen Aufwand von Scharfsinn an die Ausführung solcher Automaten gewendet hätten, die uns nur als eine äusserst kindliche Spielerei erscheinen, wenn sie nicht gehofft hätten, dieselbe Aufgabe auch in wirklichem Ernste lö- 20 sen zu können.

Aus diesem Streben, lebende Geschöpfe nachzumachen, scheint sich zunächst — auch wieder durch ein Missverständnis — eine andere Idee entwickelt zu haben, die gleichsam der neue Stein der Weisen[4] des 25 siebzehnten und achtzehnten Jahrhunderts wurde: es handelte sich darum, ein Perpetuum[°] mobile herzustellen. Darunter verstand man eine Maschine, die, ohne dass man sie aufzöge und ohne dass man, um sie zu treiben, fallendes Wasser, Wind und andere Naturkräfte 30

anwendete, von selbst fortdauernd in Bewegung bleiben und sich ihre Triebkraft° unaufhörlich aus sich selbst erzeugen sollte. Tiere und Menschen schienen im wesentlichen der Idee eines solchen Apparates zu entsprechen; denn sie bewegten sich kräftig und anhaltend, solange sie lebten; niemand zog sie auf oder stiess sie an.[1] Einen Zusammenhang zwischen Nahrungsaufnahme und Kraftentwicklung wusste man sich nicht zurecht zu legen.[2] Die Nahrung schien nur nötig, um gleichsam die Räder der tierischen Maschine zu schmieren, das Abgenutzte zu ersetzen, das Altgewordene zu erneuern. Krafterzeugung aus sich selbst schien die wesentliche Eigentümlichkeit, die rechte Quintessenz des organischen Lebens zu sein. Wollte man also Menschen nachmachen, so musste zuerst das Perpetuum mobile gefunden werden.

Daneben scheint eine andere Hoffnung in den Köpfen der Menschen die zweite Stelle eingenommen zu haben, die in unserm klügeren Zeitalter jedenfalls den ersten Rang beanspruchen würde. Das Perpetuum mobile sollte nämlich unerschöpfliche Arbeitskraft° ohne entsprechenden Verbrauch, also aus nichts, erschaffen. Arbeit aber ist Geld. Hier winkte also die goldene Lösung der grossen praktischen Aufgabe, der die schlauen Leute aller Jahrhunderte nachgegangen sind,[3] nämlich: Geld aus nichts zu machen. Die Ähnlichkeit mit dem Steine der Weisen, den die alten Alchimisten suchten, war vollständig; auch jener sollte die Quintessenz des organischen Lebens enthalten und sollte fähig sein, Gold zu machen.

Der Sporn, der zum Suchen antrieb, war scharf und das Talent derjenigen, die suchten, ist zum Teil nicht gering anzuschlagen. Die Art der Aufgabe war ganz geeignet, grüblerische Köpfe gefangen zu nehmen,[1] sie jahrelang im Kreise herumzuführen, durch die scheinbar näherrückende Hoffnung immer wieder zu täuschen und sie endlich bis zum Wahnsinn zu verwirren. Das Phantom wollte sich nicht greifen lassen. Es würde unmöglich sein, eine Geschichte dieser Bestrebungen zu entwerfen, weil die bessern Köpfe, unter denen auch der ältere Droz genannt wird, sich selbst von der Erfolglosigkeit ihrer Versuche überzeugen mussten und natürlich nur wenig geneigt sein mochten, viel davon zu sprechen. Verwirrtere Köpfe aber verkündeten oft genug, der grosse Fund sei ihnen gelungen; da sich jedoch die Unrichtigkeit ihres Vorgebens immer bald erwies, so kam die Sache in Verruf.[2] Es befestigte sich allmählich die Meinung, die Aufgabe sei nicht zu lösen; auch bezwang die mathematische Mechanik eines der hierher gehörigen Probleme nach dem andern und gelangte endlich dahin, streng und allgemein nachzuweisen, dass wenigstens durch Benutzung rein mechanischer Kräfte ein Perpetuum mobile nicht erzeugt werden könne.

Wir sind hier auf den Begriff der Triebkraft oder Arbeitskraft von Maschinen gekommen und werden damit auch weiter sehr viel zu tun haben. Ich muss deshalb eine Erklärung davon geben. Der Begriff der Arbeit ist auf Maschinen offenbar übertragen worden, indem man ihre Verrichtungen° mit denen der Menschen und Tiere verglich, zu deren Ersatz sie bestimmt waren. Noch

heute berechnet man die Arbeit der Dampfmaschinen
nach Pferdekräften. Der Wert der menschlichen Arbeit
bestimmt sich zum Teil nach dem Kraftaufwande,° der
mit ihr verbunden ist (ein stärkerer Arbeiter hat höhe-
ren Wert), zum Teil nach der Geschicklichkeit, welche
erfordert wird. Geschickte Arbeiter sind nicht augen-
blicklich in beliebiger Menge zu schaffen; sie müssen
Talent und Unterricht haben, ihre Ausbildung erfordert
Zeit und Mühe. Eine Maschine dagegen, die irgend
eine Arbeit gut ausführt, kann zu jeder Zeit in beliebig
vielen Exemplaren hergestellt werden; deshalb hat ihre
Geschicklichkeit nicht den überwiegenden Wert, den
menschliche Geschicklichkeit in solchen Feldern hat, wo
sie durch Maschinen nicht ersetzt werden kann. Man
hat deshalb den Begriff der Arbeitsgrösse° bei Maschi-
nen eingeschränkt auf die Betrachtung des Kraftaufwan-
des; dies war um so wichtiger, als in der Tat die meisten
Maschinen dazu bestimmt sind, gerade durch die Ge-
walt ihrer Wirkungen Menschen und Tiere zu übertref-
fen. Deshalb ist im mechanischen Sinne der Begriff
der Arbeit gleich dem des Kraftaufwandes geworden
und ich werde ihn auch im Folgenden nur so anwenden.

Wie kann dieser Kraftaufwand nun gemessen und bei
verschiedenen Maschinen miteinander verglichen wer-
den?

Ich muss Sie hier ein Stückchen Weges — es soll so
kurz wie möglich werden — durch das wenig anmutige
Feld mathematisch-mechanischer Begriffe[1] hinführen,
um Sie nach einem Standpunkte zu bringen, von wo sich
eine lohnendere Aussicht[2] eröffnen wird; und wenn das

Beispiel, das ich zugrunde lege, eine Wassermühle mit Eisenhammer, noch leidlich romantisch aussieht, so muss ich leider das dunkle Waldtal, den schäumenden Bach, die funkensprühende Esse[1] und die schwarzen Cyklopengestalten[2] unberücksichtigt lassen und einen 5 Augenblick um Aufmerksamkeit für die weniger poetischen Seiten des Maschinenwerkes bitten. Dieses wird durch ein Wasserrad getrieben, das die herabstürzenden Wassermassen in Bewegung setzen. Die Achse des Wasserrades hat an einzelnen Stellen kleine Vorsprünge, 10 Daumen,° die während der Umdrehung die Stiele der schweren Hämmer fassen, um sie zu heben und dann wieder fallen zu lassen. Der fallende Hammer bearbeitet die Metallmasse, die ihm untergeschoben wird. Die Arbeit, die die Maschine verrichtet, besteht hier also 15 darin, dass sie die Masse des Hammers hebt, zu welchem Ende sie die Schwere dieser Masse überwinden muss. Ihr Kraftaufwand wird also zunächst unter übrigens gleichen Umständen dem Gewichte des Hammers proportional sein, wird also z. B. verdoppelt werden müssen, 20 wenn jenes Gewicht verdoppelt wird. Aber die Leistung des Hammers hängt nicht bloss von seinem Gewichte, sondern auch von der Höhe ab, aus der er fällt. Wenn er zwei Fuss herabfällt, wird er eine grössere Wirkung tun als wenn er nur einen Fuss fällt. Nun ist aber klar, 25 dass, wenn die Maschine mit einem gewissen Kraftaufwande den Hammer um einen Fuss gehoben hat, sie denselben Kraftaufwand noch einmal wird anwenden müssen, um ihn noch einen zweiten Fuss zu heben. Die Arbeit wird also nicht nur verdoppelt, wenn das Ge- 30

wicht des Hammers verdoppelt wird, sondern auch, wenn die Fallhöhe verdoppelt wird. Daraus ist leicht ersichtlich, dass wir die Arbeit zu messen haben durch das Produkt des gehobenen Gewichtes multipliziert mit 5 der Fallhöhe. Und so misst die Mechanik in der Tat; sie nennt ihr Mass der Arbeit ein Fusspfund, d. h. ein Pfund Gewicht, gehoben um einen Fuss.

Während nun die Arbeit unseres Eisenhammers darin besteht, dass er die schweren Hammerköpfe in die Höhe 10 hebt, wird die Triebkraft, die ihn in Bewegung setzt, dadurch erzeugt, dass Wassermassen herunterfallen. Das Wasser braucht allerdings nicht immer senkrecht herabzufallen, es kann auch in einem mässig geneigten Bette herabfliessen, aber wo es Wassermühlen treiben soll, 15 muss es sich doch immer von einem höhern Orte zu einem tiefern begeben. Erfahrung und Theorie lehren nun übereinstimmend, dass, wenn ein Hammer von einem Zentner Gewicht um einen Fuss gehoben werden soll, dazu mindestens ein Zentner Wasser um einen Fuss 20 fallen muss oder, was dem äquivalent ist, zwei Zentner um einen halben Fuss oder vier Zentner um einen viertel Fuss u. s. w. Kurz, wenn wir das Gewicht der fallenden Wassermasse ebenso mit der Höhe des Falls multiplizieren und als Mass ihrer Arbeit betrachten, wie wir es bei 25 dem Hammer gemacht haben, so kann die Arbeit, die die Maschine durch Hebung eines Hammers leistet, ausgedrückt in Fusspfunden, im günstigsten Falle nur ebenso gross sein wie die Zahl der Fusspfunde des in derselben Zeit stürzenden Wassers. In Wirklichkeit wird so-30 gar das Verhältnis garnicht erreicht, sondern es geht

ein grosser Teil der Arbeit des stürzenden Wassers ungenutzt verloren, weil man gern von der Kraft etwas opfert, um eine grössere Schnelligkeit zu erzielen.

Ich bemerke noch, dass dieses Verhältnis ungeändert bleibt, ob man nun die Hämmer unmittelbar von der Welle° des Wasserrades treiben lässt oder ob man die Bewegung des Rades durch zwischengeschobene gezahnte[1] Räder, unendliche Schrauben, Rollen und Seile auf die Hämmer übertragen lässt. Man kann durch solche Mittel allerdings bewirken, dass das Wasserwerk,° das bei der ersten einfachen Einrichtung nur einen Hammer von einem Zentner Gewicht heben konnte, in den Stand gesetzt wird, einen solchen von 10 Zentnern zu heben. Aber entweder wird es diesen schwereren Hammer nur auf den zehnten Teil der Höhe heben oder es wird zehnmal mehr Zeit dazu gebrauchen, so dass es schliesslich, wie sehr wir auch durch Maschinenwerk die Intensität der wirkenden Kraft abändern mögen, doch in einer bestimmten Zeit, während welcher uns der Bach eine bestimmte Wassermasse liefert, immer nur die eine bestimmte Arbeit leisten kann.

Unser Maschinenwerk hat also zunächst weiter nichts getan, als die Schwerkraft° fallenden Wassers benutzt, um die Schwerkraft seiner Hämmer zu überwinden und diese zu heben. Wenn es einen Hammer soweit als möglich gehoben hat, lässt es ihn wieder los; er stürzt auf die Metallmassen herab, die ihm untergeschoben sind, und bearbeitet diese. Warum übt nun der stürzende Hammer eine grössere Gewalt aus als der ruhende Hammer, den man einfach durch sein Gewicht auf die

Metallmasse, die er bearbeiten soll, drücken lässt? Warum ist seine Gewalt desto grösser, je grösser die Höhe, von der er fällt, je grösser daher seine Fallgeschwindigkeit ist? Wir finden hier, dass die Arbeitsgrösse des
5 Hammers durch seine Geschwindigkeit bedingt° ist. Auch bei andern Gelegenheiten ist die Geschwindigkeit bewegter Massen ein Mittel, um grosse Wirkungen hervorzubringen. Ich erinnere an die zerstörende Wirkung abgeschossener Büchsenkugeln, die in ruhendem Zu-
10 stande die unschuldigsten Dinge der Welt sind; ich erinnere an die Windmühlen, die ihre Triebkraft° der bewegten Luft entnehmen. Es mag uns überraschen, dass die Bewegung, die uns als eine so unwesentliche und vergängliche Beigabe° der materiellen Körper erscheint,
15 so mächtige Wirkungen auszuüben imstande ist. Aber in der Tat ist sie in gewöhnlichen Verhältnissen nur deshalb so vergänglich, weil der Bewegung aller irdischen Körper fortdauernd widerstehende Kräfte (Reibung, Luftwiderstand u. s. w.) entgegenwirken, so dass
20 sie fortdauernd geschwächt und endlich aufgehoben° wird. Ein Körper aber, dem sich keine widerstehenden Kräfte entgegensetzen, wenn er einmal in Bewegung befindlich ist,[1] bewegt sich fort mit unverminderter Geschwindigkeit in alle Ewigkeit. So wissen wir, dass die
25 Planeten den freien Weltraum seit Jahrtausenden in unveränderter Weise durcheilen. Nur durch widerstehende Kräfte kann Bewegung verlangsamt und vernichtet werden. Ein bewegter Körper, wie der schlagende Hammer oder die abgeschossene Kugel, wenn er gegen
30 einen andern stösst, presst diesen zusammen oder dringt

in ihn ein, bis die Summe der Widerstandskräfte, welche der getroffene Körper seiner Kompression oder der Trennung seiner Teilchen entgegensetzt, gross genug geworden ist, um die Bewegung des Hammers oder der Kugel zu vernichten. Man nennt die Bewegung einer 5 Masse, insofern sie Arbeitskraft° vertritt, die lebendige° Kraft der Masse. Das Wort lebendig bezieht sich hier natürlich in keiner Weise auf lebende Wesen, sondern soll die Kraft der Bewegung nur unterscheiden von dem ruhigen Zustande unveränderten Bestehens, in 10 dem sich z. B. die Schwerkraft eines ruhenden Körpers befindet, welche zwar einen fortdauernden Druck gegen seine Unterlage unterhält, aber keine Veränderung hervorbringt.

In unserem Eisenhammer hatten wir also Arbeits- 15 kraft, zuerst in Form einer fallenden Wassermasse, dann in Form eines gehobenen Hammers, drittens in Form der lebendigen Kraft des gefallenen Hammers. Wir würden nun die dritte Form in die zweite zurückverwandeln können, wenn wir z. B. den Hammer auf einen 20 höchst elastischen Stahlbalken fallen liessen, der stark genug wäre, ihm zu widerstehen. Der Hammer würde zurückspringen, und zwar im günstigten Falle so hoch zurückspringen können, als er herabgefallen ist, aber niemals höher. Dabei würde seine Masse also wieder em- 25 porsteigen, und uns in dem Augenblicke, wo sie ihren höchsten Punkt erreicht hat, wieder dieselbe Menge gehobener Fusspfunde darstellen können, wie vor dem Falle, niemals aber eine grössere; das heisst also: lebendige Kraft kann eine ebenso grosse Menge Arbeit wieder 30

erzeugen, wie die war, aus der sie entstanden. Sie ist also dieser Arbeitsgrösse° äquivalent.

Unsere Wanduhren treiben wir durch sinkende Gewichte, die Taschenuhren durch gespannte Federn. Ein Gewicht, welches am Boden liegt, eine elastische Feder, welche erschlafft ist, kann keine Wirkungen hervorbringen; wir müssen, um solche zu erhalten, das Gewicht erst heben, die Feder erst spannen. Das geschieht beim Aufziehen der Uhr. Der Mensch, welcher die Uhr aufzieht, teilt ihrem Gewichte oder ihrer Feder ein Gewisses[1] an Arbeitskraft mit; genau so viel, als ihr mitgeteilt ist, gibt sie in den nächsten 24 Stunden allmählich wieder aus, indem sie es langsam verbraucht, um die Reibung der Räder, den Luftwiderstand des Pendels zu überwinden. Das Räderwerk der Uhr also bringt keine Arbeitskraft hervor, die ihm nicht mitgeteilt wäre, sondern es verteilt nur die mitgeteilte Kraft gleichmässig auf eine längere Zeit.

In den Kolben° einer Windbüchse° treiben wir mittelst einer Luftverdichtungspumpe eine grosse Menge Luft ein. Wenn wir nachher den Hahn des Kolbens öffnen und in den Lauf der Büchse die verdichtete Luft eintreten lassen, so treibt diese die eingeführte Kugel mit ähnlicher Gewalt, wie entzündetes Pulver, heraus. Wir können nun die Arbeit bestimmen, welche wir beim Einpumpen der Luft aufgewendet haben, ebenso die lebendige° Kraft, welche beim Abschiessen der Kugel mitgeteilt ist; aber wir werden letztere nie grösser finden als erstere. Die komprimierte Luft hat keine Arbeitskraft erzeugt, sondern nur die ihr mitgeteilte an die abgeschos-

sene Kugel abgegeben. Und während wir vielleicht eine Viertelstunde gepumpt haben, um die Büchse zu laden, ist die Kraft in den wenigen Sekunden des Abschiessens verbraucht worden; sie hat aber, weil ihre Tätigkeit auf so kurze Zeit zusammengedrängt war, der Kugel auch eine viel grössere Geschwindigkeit mitgeteilt als unser Arm durch eine einfache kurze Wurfbewegung es gekonnt hätte.

Aus diesen Beispielen sehen Sie — und die mathematische Theorie hat es für alle Wirkungen rein mechanischer d. h. reiner Bewegungskräfte bestätigt —, dass alle unsere Maschinen und Apparate keine Triebkraft erzeugen, sondern dass sie nur die Arbeitskraft, welche ihnen allgemeine Naturkräfte, fallendes Wasser und bewegter Wind oder die Muskelkraft von Menschen oder Tieren mitgeteilt haben, in anderer Form wieder ausgeben. Nachdem dieses Gesetz durch die grossen Mathematiker des achtzehnten Jahrhunderts allgemein festgestellt war, konnte ein Perpetuum° mobile, welches nur rein mechanische Kräfte—als da sind[1] Schwere,° Elastizität, Druck der Flüssigkeiten und Gase—benutzen wollte, nur noch von verwirrten und schlecht unterrichteten Köpfen gesucht werden. Aber es gibt allerdings noch ein weites Gebiet von Naturkräften, welche nicht zu den reinen Bewegungskräften gerechnet werden — Wärme, Elektrizität, Magnetismus, Licht, chemische Verwandtschaftskräfte°—und welche doch alle in den mannigfaltigsten Beziehungen zu den mechanischen Vorgängen stehen. Es gibt kaum einen Naturprozess irgend welcher Art, bei dem nicht mechanische Wirkungen mit vorkämen

und durch den nicht mechanische Arbeit gewonnen werden könnte. Hier war also die Frage nach einem Perpetuum mobile noch offen, und gerade in der Entscheidung dieser Frage liegt der Fortschritt der neueren Physik, über den ich zu berichten versprochen habe.

Bei der Windbüchse hatte der menschliche Arm, indem er die Luft einpumpte, die Arbeit hergegeben, welche beim Losschiessen zu leisten war. In gewöhnlichen Feuergewehren entsteht dagegen die verdichtete Gasmasse, welche die Kugel austreibt, auf einem ganz anderen Wege, nämlich durch Verbrennung des Pulvers. Schiesspulver verwandelt sich bei seiner Verbrennung grösstenteils in luftartige° Verbrennungsprodukte, welche einen viel grösseren Raum einzunehmen streben, als das Volumen des Pulvers vorher betrug. Sie sehen also, dass das Schiesspulver uns die Arbeit erspart, welche der menschliche Arm bei der Windbüchse ausführen musste.

Auch in den mächtigsten unserer Maschinen, den Dampfmaschinen, sind es starkkomprimierte luftförmige Körper, die Wasserdämpfe, welche durch ihr Bestreben sich auszudehnen, die Maschine in Bewegung setzen. Auch hier verdichten wir die Dämpfe nicht durch eine äussere mechanische Kraft, sondern wir leiten Wärme zu einer Wassermasse in einem verschlossenen Kessel und verwandeln dadurch dieses Wasser in Dampf, der wegen des engen Raumes sogleich unter starker Pressung entsteht. Es ist also die zugeleitete° Wärme, welche hier mechanische Kraft erzeugt. Diese zur Heizung der Maschine nötige Wärme würden wir nun auf mancherlei

Weise gewinnen können; die gewöhnliche Methode ist, sie durch Verbrennung von Kohle zu erhalten.

Die Verbrennung ist ein chemischer Prozess. Ein besonderer Bestandteil unserer Atmosphäre, das Sauerstoffgas,° besitzt zu den Bestandteilen der brennbaren Körper eine mächtige Anziehungskraft oder, wie es die Chemie nennt, eine starke Verwandtschaft,° welche aber meist erst bei höherer Temperatur in Wirksamkeit treten kann. Sobald ein Teil des brennbaren Körpers, z. B. der Kohle, hinreichend erhitzt wird, vereinigt sich der Kohlenstoff° mit grosser Heftigkeit mit dem Sauerstoff der Atmosphäre zu Kohlensäure.° Bei dieser Verbindung entsteht Wärme und Licht; wie denn überhaupt bei jeder chemischen Vereinigung zweier Körper von starker Verwandtschaft Wärme und, wenn die Wärme bis zum Glühen geht, Licht entsteht. Schliesslich sind es also chemische Prozesse und chemische Kräfte, welche die staunenswerten Arbeitsgrössen der Dampfmaschinen liefern. Ebenso ist die Verbrennung des Schiesspulvers ein chemischer Prozess, der der Kugel im Feuergewehre ihre lebendige Kraft gibt.

Während nun die Dampfmaschine aus Wärme mechanische Arbeit entwickelt, können wir durch mechanische Kräfte auch Wärme erzeugen. Jeder Stoss, jede Reibung tut dies. Ein geschickter Schmied kann einen eisernen Keil durch blosses Hämmern glühend machen; die Axen unserer Wagenräder müssen durch sorgfältiges Schmieren vor der Entzündung durch Reibung geschützt werden. Neuerdings hat man dies in grösserem Massstabe benutzt. Man verwendete die überflüssige Was-

serkraft einiger Fabriken dazu, um zwei grosse eiserne Platten, deren eine schnell um ihre Axe lief, auf einander reiben zu lassen, so dass beide sich stark erhitzten. Die gewonnene Wärme heizte das Zimmer, und man hatte einen Ofen ohne Brennmaterial. Könnte nun nicht die von den Platten erzeugte Wärme hinreichen, um eine kleine Dampfmaschine zu heizen, welche wiederum imstande wäre, die Platten in Bewegung zu halten? Damit wäre ja das Perpetuum mobile gefunden. Diese Frage konnte gestellt werden, und sie war durch die älteren mathematisch-mechanischen Untersuchungen nicht zu entscheiden. Ich bemerke zum voraus, dass das allgemeine Gesetz, welches ich Ihnen darlegen will, sie mit Nein beantworten wird.

Es ist unnötig, noch mehr Beispiele zu häufen, da aus den gegebenen schon zu entnehmen ist, in wie enger Verbindung Wärme, Elektrizität, Magnetismus, Licht, chemische Verwandtschaften mit den mechanischen Kräften stehen.

Von jeder einzelnen dieser Erscheinungsweisen° der Naturkräfte ausgehend, kann man jede andere in Bewegung setzen, meistens auf mannigfach verschiedenen Wegen. Es ist damit wie mit dem Webermeisterstück[1]:

> Wo ein Tritt tausend Fäden regt,
> Die Schifflein herüber, hinüber schiessen,
> Die Fäden ungesehen fliessen,
> Ein Schlag tausend Verbindungen schlägt.

Nun ist es klar, wenn man auf irgend eine Weise durch mechanische Kräfte chemische, elektrische oder andere Naturprozesse hervorrufen könnte, welche im-

stande wären, auf irgend einem Umwege, aber ohne die in der Maschine tätigen Massen bleibend zu verändern, wieder mechanische Kräfte, und zwar in grösserer Menge als die zuerst benutzten, zu erzeugen, dass man dann einen Teil der gewonnenen Kraft anwenden könnte, um die Maschine in Gang zu halten und den Rest der Arbeit zu beliebigen anderen Zwecken zu verwerten. Es kam nur darauf an,[1] in dem verwickelten Netze von Wechselwirkungen° der Naturkräfte von mechanischen Prozessen ausgehend, durch chemische, elektrische, magnetische, thermische Prozesse wieder zu den mechanischen irgend einen Zirkelweg° zurückzufinden, der mit endlichem Gewinne von mechanischer Arbeit zurückzulegen wäre; dann war das Perpetuum° mobile gefunden.

Aber gewarnt durch die Erfolglosigkeit früherer Versuche, war man klüger geworden. Es wurde im ganzen nicht viel nach Kombinationen gesucht, welche das Perpetuum mobile zu liefern versprachen, sondern man kehrte die Frage um. Man fragte nicht mehr: Wie kann ich die bekannten und unbekannten Beziehungen zwischen den Naturkräften benutzen, um ein Perpetuum mobile zu konstruiren? sondern man fragte: Wenn ein Perpetuum mobile unmöglich sein soll, welche Beziehungen müssen dann zwischen den Naturkräften bestehen? Mit dieser Umkehr° der Frage war alles gewonnen. Man konnte leicht die Beziehungen der Naturkräfte zu einander, welche durch die genannte Annahme gefordert werden, vollständig hinstellen;° man fand, dass sämtliche bekannten Beziehungen der Kräfte sich den Folge-

rungen jener Annahme fügten, und man fand gleichzeitig eine Reihe noch unbekannter Beziehungen, deren tatsächliche Richtigkeit zu prüfen war. Erwies sich eine einzige als unrichtig, so gab es ein Perpetuum mobile.

5 Der erste, welcher diesen Weg zu betreten suchte, war 1824 der Franzose Sadi Carnot.[1] Trotz einer zu beschränkten Auffassung seines Gegenstandes und einer falschen Ansicht von der Natur der Wärme, die ihn zu einigen irrtümlichen Schlüssen verführte, missglückte 10 sein Versuch nicht ganz. Er fand ein Gesetz, welches noch jetzt seinen Namen trägt und auf welches ich zurückkommen werde.

Seine Arbeit blieb lange Zeit so gut wie unberücksichtigt, und erst 18 Jahre später fassten verschiedene 15 Forscher in verschiedenen Ländern, unabhängig von Carnot, denselben Gedanken. Der erste, welcher das allgemeine Naturgesetz, um welches es sich hier handelt, richtig auffasste und aussprach, war im Jahre 1842 ein deutscher Arzt, Julius Robert Mayer[2] in Heilbronn. 20 Wenig später, 1843, übergab Colding,[3] ein Däne, der Akademie von Kopenhagen eine Abhandlung, welche dasselbe Gesetz aussprach und auch einige Versuchsreihen° zu seiner weiteren Begründung enthielt. In England hatte Joule[4] um dieselbe Zeit angefangen, Ver-25 suchsreihen anzustellen, welche sich auf den gleichen Gegenstand bezogen. Wir finden es häufig bei Fragen, zu deren Bearbeitung der zeitliche Entwickelungsgang[5] der Wissenschaft hindrängt, dass mehrere Köpfe, ganz unabhängig von einander, eine genaue übereinstimmende 30 neue Gedankenreihe° erzeugen.

Ich selbst hatte, ohne von Mayer und Colding etwas zu wissen und mit Joules Versuchen erst am Ende meiner Arbeit bekannt, denselben Weg betreten. Ich bemühte mich namentlich, alle Beziehungen zwischen den verschiedenen Naturprozessen aufzusuchen, welche 5 aus der angegebenen Betrachtungsweise zu folgern waren, und veröffentlichte meine Untersuchungen 1847 in einer kleinen Schrift unter dem Titel „Über die Erhaltung der Kraft."[1]

Wie die Entscheidung der angeregten Frage ausgefallen ist, können Sie sich nach dem Vorausgeschickten 10 denken. Es gibt durch die ganze Reihe der Naturprozesse keinen Zirkelweg° zur Gewinnung mechanischer Kraft ohne entsprechenden Verbrauch. Das Perpetuum mobile bleibt unmöglich. Dadurch gewinnen aber unsere 15 Betrachtungen ein höheres Interesse.

Wir haben bisher die Kraftentwickelung durch Naturprozesse nur in ihrem Verhältnis zum Nutzen des Menschen betrachtet, als Arbeitskraft° in Maschinen. Jetzt sehen wir, dass wir ein allgemeines Naturgesetz vor 20 uns haben, welches besteht, ganz unabhängig von der Anwendung, die der Mensch den Naturkräften gibt; wir müssen deshalb auch den Ausdruck des Gesetzes dieser allgemeineren Bedeutung anpassen. Zunächst ist es klar, dass wir die Arbeit, welche durch irgend einen Na- 25 turprozess in einer Maschine unter günstigen Bedingungen erzeugt wird und die in der vorher angegebenen Weise gemessen werden kann, als ein allen[2] gemeinsames Mass der Kraft benutzen können. Ferner entsteht die wichtige Frage: wenn die Menge der Arbeitskraft ohne 30

entsprechenden Verbrauch nicht vermehrt werden kann, kann sie vermindert werden oder verloren gehen? Für die Zwecke unserer Maschinen allerdings, wenn wir die Gelegenheit verabsäumen, aus den Naturprozessen Nutzen zu ziehen, aber, wie die Untersuchung weiter ergeben hat, nicht für das Naturganze.°

Die ältere Mechanik nahm an, dass beim Stosse und der Reibung zweier Körper gegen einander lebendige° Kraft einfach verloren gehe. Ich habe jedoch angeführt, dass jeder Stoss und jede Reibung Wärme erzeugt, und zwar ist durch Joules Versuche das wichtige Gesetz bewiesen, dass für jedes Fusspfund verlorener Arbeit immer eine genau bestimmte Menge Wärme entsteht, und dass, wenn Arbeit durch Wärme gewonnen wird, für jedes Fusspfund gewonnener Arbeit wiederum jene Menge Wärme verschwindet. Die Wärmemenge, welche nötig ist, um die Temperatur von einem Pfunde Wasser um einen Grad des hundertteiligen Thermometers zu erhöhen, entspricht einer Arbeitskraft, die ein Pfund um 425 Meter hebt; man nennt diese Grösse das mechanische Äquivalent der Wärme. Diese Tatsachen führen notwendig zu dem Schluss, dass die Wärme nicht, wie früher ziemlich allgemein angenommen wurde, ein feiner unwägbarer Stoff[1] ist, sondern dass sie vielmehr, ähnlich dem Lichte und dem Schalle, eine besondere Form zitternder Bewegung der kleinsten Körperteile sei. Bei Reibung und Stoss geht nach dieser Vorstellungsweise° die scheinbar verlorene Bewegung der ganzen Massen nur in eine Bewegung ihrer kleinsten Teile über, und bei der Erzeugung von Triebkraft° durch Wärme geht um-

gekehrt die Bewegung der kleinsten Teile wieder in eine solche der ganzen Massen über.

Chemische Verbindungen erzeugen Wärme, und zwar ist deren Menge durchaus unabhängig von der Zeitdauer und den Zwischenstufen, in denen die Verbindung vor sich gegangen ist,[1] vorausgesetzt,° dass nicht noch andere Wirkungen dabei hervorgebracht werden. Wird aber auch gleichzeitig, wie in der Dampfmaschine, mechanische Arbeit erzeugt, so erhalten wir so viel Wärme weniger, als dieser Arbeit äquivalent ist. Die Arbeitsgrösse der chemischen Kräfte ist übrigens im allgemeinen sehr gross. Ein Pfund reinste Kohle z. B. gibt verbrannt so viel Wärme, dass 8086 Pfund Wasser um einen Grad des hundertteiligen Thermometers erwärmt werden; daraus berechnen wir, dass die Grösse der chemischen Anziehungskraft zwischen den kleinsten Teilchen von einem Pfund Kohle und dem dazu gehörigen Sauerstoffe° fähig ist, 100 Pfund auf 4½ Meilen[2] Höhe zu heben. Leider sind wir mit unseren Dampfmaschinen bisher nur imstande, den kleinsten Teil dieser Arbeit wirklich zu gewinnen, das meiste geht in der Form von Wärme unbenutzt verloren. Die besten Expansions-Dampfmaschinen geben nur 18 Prozent der durch das Brennmaterial erzeugten Wärme als mechanische Arbeit.

Aus einer ähnlichen Untersuchung aller übrigen bekannten physikalischen und chemischen Prozesse geht nun hervor, dass das Naturganze einen Vorrat von wirkungsfähiger° Kraft besitzt, welcher in keiner Weise weder vermehrt noch vermindert werden kann, dass also die Quantität der wirkungsfähigen Kraft in der unor-

ganischen Natur ebenso ewig und unveränderlich ist wie die Quantität der Materie. In dieser Form ausgesprochen, habe ich das allgemeine Gesetz das Prinzip von der Erhaltung° der Kraft genannt.

5 Wir Menschen können für menschliche Zwecke keine Arbeitskraft erschaffen, sondern wir können sie uns nur aus dem allgemeinen Vorrate der Natur aneignen. Der Waldbach und der Wind, die unsere Mühlen treiben, der Forst und das Steinkohlenlager, welche unsere Dampf-10 maschinen versehen und unsere Zimmer heizen, sind uns nur Träger eines Teiles des grossen Kraftvorrates der Natur, den wir für unsere Zwecke auszubeuten und dessen Wirkungen wir nach unserem Willen zu lenken suchen. Der Mühlenbesitzer spricht° die Schwere des herabflies-15 senden Wassers oder die lebendige Kraft des vorbeistreichenden Windes als sein Eigentum an.° Diese Teile des allgemeinen Kraftvorrates sind es, die seinem Besitztum den Hauptwert geben.

Daraus übrigens, dass kein Teilchen Arbeitskraft 20 absolut verloren geht, folgt noch nicht, dass es noch ferner für menschliche Zwecke anwendbar sei. In dieser Beziehung sind die Folgerungen wichtig, welche William Thomson[1] aus dem schon erwähnten Gesetze von Carnot gezogen hat. Dieses Gesetz gibt einen gewissen 25 Zusammenhang an zwischen der Zusammendrückbarkeit aller Körper, ihrer Wärmekapazität und ihrer Ausdehnung durch Wärme. Es wurde zwar von Carnot gefunden, als er sich bemühte, die Beziehungen zwischen Wärme und Arbeit aufzusuchen, gehört aber keineswegs 30 zu den notwendigen Folgerungen der Erhaltung der

Kraft und wurde erst durch Clausius[1] in dem Sinne abgeändert,[2] dass es jenem allgemeinen Naturgesetze nicht mehr widerspricht. Man kann ihm ausser der von Carnot zuerst aufgestellten mathematischen Form auch folgenden allgemeineren Ausdruck geben: „Nur 5 wenn Wärme von einem wärmeren zu einem kälteren Körper übergeht, kann sie, und auch dann nur teilweise, in mechanische Arbeit verwandelt werden."

Die Wärme eines Körpers, der sich nicht weiter abkühlen lässt, können wir auch nicht in eine andere Wir- 10 kungsform,° in mechanische, elektrische oder chemische Kräfte zurückführen. So verwandeln wir in unseren Dampfmaschinen einen Teil der Wärme der glühenden Kohlen in Arbeit, indem wir sie an das weniger warme Wasser des Kessels übergehen lassen; wenn aber sämt- 15 liche Körper der Natur eine und dieselbe Temperatur hätten, würde es unmöglich sein, irgend einen Teil ihrer Wärme wieder in Arbeit zu verwandeln. Demgemäss können wir den gesamten Kraftvorrat des Weltganzen° in zwei Teile teilen: der eine Teil ist Wärme und muss 20 Wärme bleiben, der andere, zu dem ein Teil der Wärme der heisseren Körper und der ganze Vorrat chemischer, mechanischer, elektrischer und magnetischer Kräfte gehört, ist der mannigfachsten Formveränderung fähig und unterhält den ganzen Reichtum wechselnder Verände- 25 rungen in der Natur.

Aber die Wärme heisser Körper strebt fortdauernd danach, durch Leitung und Strahlung auf die weniger warmen überzugehen und Gleichgewicht der Temperatur hervorzubringen. Bei jeder Bewegung irdischer Körper 30

geht durch Reibung oder Stoss ein Teil mechanischer Kraft in Wärme über, von der nur ein Teil wieder zurückverwandelt werden kann; dasselbe ist in der Regel der Fall bei jedem chemischen und elektrischen Prozesse. 5 Daraus folgt also, dass der erste Teil des Kraftvorrats, die unveränderliche Wärme, bei jedem Naturprozesse fortdauernd zunimmt; der zweite Teil, nämlich die mechanischen, elektrischen, chemischen Kräfte, fortdauernd abnimmt; und wenn das Weltall ungestört dem Ablaufe 10 seiner physikalischen Prozesse überlassen wird,[1] so muss endlich aller Kraftvorrat in Wärme übergehen und alle Wärme in das Gleichgewicht der Temperatur kommen. Dann ist jede Möglichkeit einer weiteren Veränderung erschöpft; dann muss vollständiger Stillstand aller 15 Naturprozesse von jeder nur möglichen Art eintreten. Auch das Leben von Pflanzen, Tieren und Menschen kann nicht weiter bestehen, wenn die Sonne ihre höhere Temperatur und damit ihr Licht verloren hat und wenn sämtliche Bestandteile der Erdoberfläche die chemi- 20 schen Verbindungen geschlossen haben werden, welche ihre Verwandtschaftskräfte fordern. Kurz, das Weltall° wird von da an zu ewiger Ruhe verurteilt sein.

Ich habe Ihnen vorher angekündigt, dass uns unser Weg durch eine dornenvolle und unerquickliche Strecke 25 von mathematisch-mechanischen Begriffsentwickelungen[2] führen würde. Jetzt haben wir diesen Teil des Weges zurückgelegt. Das allgemeine Prinzip, welches ich Ihnen darzulegen versuchte, hat uns auf einen Standpunkt mit weitumfassenden Aussichten gebracht, und wir kön- 30 nen mit seiner Hülfe jetzt nach Belieben diese oder jene

Seite der umliegenden Welt betrachten, wie sie uns gerade am meisten interessiert. Die Blicke in die engen Laboratorien der Physiker mit ihren kleinlichen Verhältnissen und verwickelten Abstraktionen werden nicht so anziehend sein als der Blick auf den weiten Himmel über 5 uns, auf Wolken, Flüsse, Wälder und lebende Geschöpfe um uns. Wenn ich dabei Gesetze, welche zunächst nur von den physikalischen Prozessen zwischen irdischen Körpern hergeleitet sind, auch für andere Himmelskörper als gültig betrachte, so erinnere ich daran, dass 10 dieselbe Kraft, welche wir auf der Erde Schwere° nennen, in den Welträumen als Gravitation wirkt, dass sie in den Bewegungen unermesslich ferner Doppelsterne als wirksam wiederzuerkennen und dort genau denselben Gesetzen unterworfen ist, wie zwischen Erde und Mond; 15 dass Licht und Wärme der irdischen Körper in keiner Beziehung wesentlich von denen der Sonne und der fernsten Fixsterne unterschieden sind; dass die Meteorsteine, die aus den Welträumen zuweilen auf die Erde herabstürzen, ganz dieselben chemisch einfachen Stoffe 20 enthalten, wie die irdischen Körper. Wir werden deshalb nicht anzustehen° brauchen, allgemeine Gesetze, denen sämtliche irdische Naturprozesse unterworfen sind, auch für andere Weltkörper als gültig zu betrachten und werden uns mit unserem Gesetze an die Aufgabe 25 machen, den Haushalt des Weltalls in bezug auf die Vorräte wirkungsfähiger° Kraft etwas zu überschauen.

Eine Menge von auffallenden Eigentümlichkeiten im Bau unseres Planetensystems deuten darauf hin, dass es einst eine zusammenhängende Masse mit einer gemein- 30

samen Rotationsbewegung gewesen sein müsse. Ohne eine solche Annahme° würde sich nämlich durchaus nicht erklären lassen, warum alle Planeten in derselben Richtung um die Sonne laufen, warum sie sich alle in derselben Richtung um ihre Axe drehen, warum die Ebenen[1] ihrer Bahnen und die ihrer Trabanten° und Ringe alle nahehin zusammenfallen, warum alle ihre Bahnen wenig von Kreisen unterschieden sind und manches andere mehr. Aus diesen zurückgebliebenen Andeutungen eines früheren Zustandes haben sich die Astronomen eine Hypothese über die Entstehung unseres Planetensystems gebildet, welche, obgleich sie der Natur der Sache nach immer eine Hypothese bleiben wird, doch in ihren einzelnen Zügen durch Analogien so gut begründet ist, dass sie wohl unsere Aufmerksamkeit verdient; um so mehr, als diese Ansicht auf unserem heimischen Boden, innerhalb der Mauern dieser Stadt,[2] zuerst entstand. *Kant*[3] war es, der, sehr interessiert für die physische Beschreibung der Erde und des Weltgebäudes,° sich dem mühsamen Studium von *Newtons*[4] Werken unterzogen hatte und als Zeugnis dafür, wie tief er in dessen Grundideen eingedrungen war, den genialen Gedanken fasste, dieselbe Anziehungskraft aller wägbaren Materie, welche jetzt den Lauf der Planeten unterhält, müsse auch einst imstande gewesen sein, das Planetensystem aus locker im Weltraum verstreuter Materie zu bilden. Später fand, unabhängig von ihm, auch *Laplace*,[5] der grosse Verfasser der Mécanique céleste, denselben Gedanken und bürgerte ihn in der Astronomie ein.

Den Anfang unseres Planetensystemes mit seiner Sonne haben wir uns danach als eine ungeheure nebelartige° Masse vorzustellen, die den Teil des Weltraums ausfüllte, wo jetzt unser System sich befindet, bis weit über die Grenzen der Bahn des äussersten Planeten, des 5 Neptun, hinaus. Noch jetzt erblicken wir in fernen Gegenden des Firmamentes Nebelflecken,° deren Licht, wie die Spektralanalyse lehrt, das Licht glühender Gase ist, in deren Spektrum sich namentlich diejenigen hellen Linien zeigen, welche glühender Wasserstoff° und glü- 10 hender Stickstoff° erzeugen. Und auch innerhalb der Räume unseres eigenen Sonnensystemes zeigen die Kometen, die Schwärme der Sternschnuppen sowie das Zodiakallicht[1] deutliche Spuren staubförmig verstreuter Substanz, die aber nach dem Gesetz der Schwere sich 15 bewegt, und, zum Teil wenigstens, allmählich durch die grösseren Körper zurückgehalten und einverleibt wird. Letzteres geschieht in der Tat mit den Sternschnuppen und Meteormassen, welche in die Atmosphäre unserer Erde geraten. 20

Berechnet man die Dichtigkeit der Masse unseres Planetensystemes nach der gemachten Annahme für die Zeit, wo es ein Nebelball war, der bis an die Bahnen der äussersten Planeten reichte, so findet sich, dass viele Millionen Kubikmeilen erst ein Gran wägbarer 25 Materie enthielten.

Die allgemeine Anziehungskraft aller Materie zu einander musste aber diese Massen antreiben, sich einander zu nähern und sich zu verdichten, so dass sich der Nebelball immer mehr und mehr verkleinerte, wobei, nach 30

mechanischen Gesetzen, eine ursprünglich langsame Rotationsbewegung, deren Dasein man voraussetzen muss, allmählich immer schneller und schneller wurde. Durch die Schwungkraft,° die in der Nähe vom Äquator des Nebelballs am stärksten wirken musste, konnten von Zeit zu Zeit Massen losgerissen werden, welche dann, getrennt von dem Ganzen, ihre Bahn fortsetzen und sich zu einzelnen Planeten oder, ähnlich dem grossen Balle, zu Planeten mit Trabantensystemen und Ringen umformten, bis endlich die Hauptmasse zum Sonnenkörper sich verdichtete. Über den Ursprung von Wärme und Licht gibt uns jene Ansicht noch keinen Aufschluss.°

Als sich jenes Nebelchaos zuerst von anderen Fixsternmassen getrennt hatte, musste es nicht nur sämtliche Materie enthalten, aus der das künftige Planetensystem zusammenzusetzen war, sondern, unserem neuen Gesetze gemäss, auch den ganzen Vorrat von Arbeitskraft,° der einst darin seinen Reichtum von Wirkungen entfalten sollte. In der Tat war ihm eine ungeheuer grosse Mitgift in dieser Beziehung, schon allein in Form der allgemeinen Anziehungskraft aller seiner Teile zu einander, verliehen. Diese Kraft, welche auf der Erde sich als Schwerkraft äussert, wird in bezug auf ihre Wirksamkeit in den Welträumen° die himmlische Schwere oder Gravitation genannt. Wie die irdische Schwere, wenn sie ein Gewicht zur Erde niederzieht, eine Arbeit verrichtet und lebendige Kraft erzeugt, so tut es auch jene himmlische, wenn sie zwei Massenteilchen aus entfernten Gegenden des Weltraums zu einander führt.

Auch die chemischen Kräfte mussten schon vorhan-

den sein, bereit zu wirken; da aber diese Kräfte erst bei der innigsten Berührung der verschiedenartigen Massen zur Wirksamkeit gelangen können, musste Verdichtung eingetreten sein, ehe ihr Spiel beginnen konnte.

Ob noch ein weiterer Kraftvorrat in Gestalt von 5 Wärme im Uranfange vorhanden war, wissen wir nicht. Jedenfalls finden wir mit Hülfe des Gesetzes der Äquivalenz von Wärme und Arbeit in den mechanischen Kräften jenes Urzustandes eine so reiche Quelle von Wärme und Licht, dass wir keine Veranlassung haben, 10 zu einer anderen, ursprünglich bestehenden, unsere Zuflucht zu nehmen. Wenn nämlich bei der Verdichtung der Massen die Teilchen auf einander stiessen und an einander hafteten, so wurde die lebendige Kraft ihrer Bewegung vernichtet und musste zu Wärme werden. 15 Schon in älteren Theorien hat man dem Rechnung getragen,[1] dass das Zusammenstossen kosmischer Massen Wärme erzeugen muss, aber man war weit entfernt davon, auch nur annähernd° zu beurteilen, wie hoch diese Wärme zu veranschlagen sein möchte. Heute 20 können wir mit Sicherheit bestimmte Zahlenwerte angeben.

Schliessen wir uns also der Voraussetzung an,[2] dass am Anfang die Dichtigkeit der nebelartig verteilten Materie verschwindend klein gewesen sei gegen die jetzige Dich- 25 tigkeit der Sonne und der Planeten, so können wir berechnen, wie viel Arbeit bei der Verdichtung geleistet worden ist; wir können ferner berechnen, wie viel von dieser Arbeit noch jetzt in Form mechanischer Kraftgrössen° besteht, als Anziehung der Planeten zur Sonne 30

und als lebendige Kraft ihrer Bewegung und daraus finden, wie viel in Wärme verwandelt worden ist.

Das Ergebnis dieser Rechnung ist, dass nur noch etwa der 443ste Teil der ursprünglichen mechanischen Kraft als solche besteht, dass das Übrige, in Wärme verwandelt, hinreicht, um eine Wassermasse, welche ebenso gross ist wie die Masse der Sonne und Planeten zusammengenommen, um nicht weniger als 28 Millionen Grad Celsius[1] zu erhitzen. Zur Vergleichung führe ich an, dass die höchste Temperatur, welche wir im Sauerstoffgebläse° hervorbringen können, wobei sogar Platin° schmilzt und verdampft und nur sehr wenige bekannte Stoffe fest bleiben, auf etwa 2000 Grad[2] geschätzt wird. Welche Wirkungen wir einer Temperatur von 28 Millionen Grad zuschreiben sollen, davon können wir uns gar keine Vorstellung machen. Wenn die Masse unseres ganzen Systems reine Kohle wäre und das Ganze verbrannt würde, so würde dadurch erst der 3500ste Teil jener Wärmemenge erzeugt werden. So viel ist klar, dass eine so grosse Wärmeentwickelung das grösste Hindernis für eine schnelle Vereinigung der Massen gewesen sein muss, und dass wohl erst der grösste Teil dieser Wärme durch Strahlung sich in den Weltraum hinein verlieren musste, ehe die Massen so dichte Körper bilden konnten, wie Planeten und Sonne gegenwärtig sind. Als sie sich bildeten, konnten ihre Bestandteile nur in feurigem Flusse[3] sein, was sich übrigens für die Erde durch geologische Phänomene° bestätigt, während die abgeplattete Kugelform,[4] welche die Gleichgewichtsform einer rotierenden flüssigen Masse ist, auch bei allen anderen

Körpern unseres Systemes auf einen ursprünglich flüssigen Zustand hindeutet. Wenn ich unserem Systeme ohne Ersatz eine ungeheure Wärmequantität verloren gehen liess, so ist das kein Widerspruch gegen das Prinzip von der Erhaltung der Kraft. Sie ist wohl unserem Planetensysteme verloren gegangen, nicht aber dem Weltall. Sie ist hinausgegangen und geht noch täglich hinaus in die unendlichen Räume, und wir wissen nicht, ob das Mittel,° welches die Licht- und Wärmeschwingungen fortleitet, irgend welche Grenzen hat, wo die Strahlen umkehren müssen, oder ob sie für immer ihre Reise in die Unendlichkeit hinein fortsetzen.

Übrigens ist auch der gegenwärtig vorhandene Vorrat von mechanischer Kraft in unserem Planetensystem noch ungeheuren Wärmemengen äquivalent. Könnte durch einen Stoss unsere Erde in ihrer Bewegung um die Sonne plötzlich zum Stillstande gebracht werden — was bei der bestehenden Einrichtung des Planetensystems jedoch nicht zu befürchten ist, — so würde durch diesen Stoss so viel Wärme erzeugt werden, als die Verbrennung von 14 Erden aus reiner Kohle zu erzeugen imstande sein würde. Ihre Masse würde, auch wenn wir die ungünstigste Annahme über ihre Wärmekapazität machten und sie der des Wassers gleichsetzten, doch um 112000 Grade erwärmt, also ganz geschmolzen und zum grössten Teile verdampft werden. Stürzte die Erde dann aber, wie es der Fall sein würde, wenn sie zum Stillstande käme, in die Sonne hinein, so würde die durch einen solchen Stoss entwickelte Wärme noch 400mal grösser sein.

Noch jetzt wiederholt sich von Zeit zu Zeit ein solcher

Prozess in kleinem Massstabe. Es kann einem Zweifel kaum mehr unterworfen sein, dass die Sternschnuppen, Feuerkugeln° und Meteorsteine Massen sind, welche dem Weltenraume angehören, und dass sie, ehe sie in den
5 Bereich unserer Erde kommen, nach Art der Planeten sich um die Sonne bewegen. Nur wenn sie in unsere Atmosphäre eindringen, werden sie uns sichtbar und stürzen zuweilen herab. Um zu erklären, dass sie dabei leuchtend werden, und dass die herabgestürzten Stücke
10 im ersten Augenblicke sehr heiss sind, hat man schon längst an die Reibung gedacht, die sie in der Luft erleiden. Jetzt können wir berechnen, dass eine Geschwindigkeit von 3000 Fuss in der Sekunde hinreicht, wenn die Reibungswärme ganz an die feste Masse übergeht, ein Stück
15 Meteoreisen beim Falle auf 1000 Grad[1] zu erhitzen, es also in lebhaftes Glühen zu versetzen. Nun scheint aber die mittlere Geschwindigkeit der Sternschnuppen 30- bis 50mal grösser zu sein, nämlich 4 bis 6 Meilen[2] in der Sekunde zu betragen. Dafür verbleibt[3] aber der
20 beträchtlichste Teil der erzeugten Wärme bei der verdichteten Luftmasse, welche das Meteor vor sich hertreibt. Bekannt ist, dass helle Sternschnuppen gewöhnlich eine lichte Spur hinter sich lassen; wahrscheinlich sind dies losgestossene glühende Teile ihrer Oberfläche. Meteor-
25 massen, welche herabstürzen, zerspringen oft mit heftigen Explosionen, was als eine Wirkung der schnellen Erhitzung anzusehen sein dürfte. Die frisch gefallenen Stücke hat man wohl heiss, aber nicht glühend gefunden und dies damit erklärt, dass während der kurzen Zeit, in der
30 das Meteor die Atmosphäre durcheilt, nur eine dünne

Schicht der Oberfläche zum Glühen erhitzt wird, in das Innere der Masse aber noch wenig Wärme eindringen kann. Deshalb mag das Glühen auch schnell wieder verschwinden.

So hat uns der Meteorsteinfall, als ein winziger Rest von Vorgängen, welche in der Bildung der Himmelskörper einst die bedeutendste Rolle gespielt zu haben scheinen, in die jetzige Zeit geführt, wo wir aus dem Dunkel hypothetischer Vorstellungen in die Helle des Wissens übergehen. Hypothetisch ist übrigens in dem bisher Vorgetragenen nur die Annahme von Kant und Laplace, dass die Massen unseres Systems anfangs nebelartig im Raume verteilt gewesen seien.

Unsere Erde trägt noch die unverkennbaren Spuren ihres alten feurigflüssigen[1] Zustandes an sich. Die granitene Grundlage ihrer Gebirge zeigt eine Struktur, welche nur durch das krystallinische Erstarren[2] geschmolzener Massen entstanden sein kann. Noch jetzt zeigen die Untersuchungen der Temperatur in Bergwerken und Bohrlöchern, dass die Wärme in der Tiefe zunimmt; und wenn diese Zunahme gleichmässig ist, findet sich schon in der Tiefe von 10 Meilen[3] eine Temperatur, bei der alle unsere Gebirgsarten° schmelzen. Noch jetzt fördern unsere Vulkane von Zeit zu Zeit mächtige Massen geschmolzenen Gesteins aus dem Innern hervor als Zeugen der dort herrschenden Glut. Aber schon ist die abgekühlte Kruste der Erde so dick geworden, dass — wie die Berechnung ihrer Wärmeleitungsfähigkeit° ergibt — die von innen hervordringende Wärme, verglichen mit der von der Sonne gesendeten, ausserordentlich

klein ist. Sie kann die Temperatur der Oberfläche nur etwa um $\frac{1}{30}$ Grad[1] vermehren, so dass der Rest des alten Kraftvorrates, welcher als Wärme im Innern des Erdkörpers aufgespeichert ist, fast nur noch in den vulkanischen Erscheinungen auf die Vorgänge der Oberfläche von Einfluss ist. Diese Vorgänge gewinnen ihre Triebkraft° beinahe ganz aus der Einwirkung anderer Himmelskörper, namentlich aus dem Lichte und der Wärme der Sonne, teilweise auch aus der Anziehungskraft der Sonne und des Mondes.

Am reichsten ist das Gebiet der Veränderungen, welche wir der Wärme und dem Lichte der Sonne verdanken. Die Sonne erwärmt unsern Luftkreis ungleichmässig, die wärmere, verdünnte Luft steigt empor, während von den Seiten neue kühlere Luft hinzufliesst; so entstehen die Winde. Am mächtigsten wirkt diese Ursache am Äquator ein, dessen wärmere Luft in den höheren Schichten der Atmosphäre fortdauernd nach den Polen zu abfliesst, während ebenso anhaltend am Erdboden selbst die Passatwinde° neue kühlere Luft nach dem Äquator zurückführen. Ohne Sonnenwärme würden alle Winde notwendig aufhören. Ähnliche Strömungen entstehen aus dem gleichen Grunde im Meereswasser. Von ihrer Mächtigkeit zeugt namentlich der Einfluss, den sie auf das Klima mancher Gegenden haben. Durch sie wird das warme Wasser des Antillenmeeres° zu den britischen Inseln herübergeführt und bringt diesen eine milde, gleichmässige Wärme neben reichlicher Feuchtigkeit, während durch andere Strömungen das Treibeis° des Nordpols bis in die Gegend von Neufundland° ge-

führt wird und hier rauhe Kälte verbreitet. Durch die Sonnenwärme wird ferner ein Teil des Wassers verdampft, steigt in die oberen Schichten der Atmosphäre, wird zu Nebeln verdichtet und bildet Wolken; oder es fällt als Regen und Schnee wieder auf die Erde und ihre 5 Berge zurück und sammelt sich in Form von Quellen, Bächen und Flüssen. Endlich kehrt es in das Meer zurück, nachdem es die Felsen zernagt, lockeres Erdreich weggeschwemmt und so das Seinige[1] an der geologischen Veränderung der Erde getan und vielleicht unterwegs 10 noch unsere Wassermühlen getrieben hat. Nehmen wir die Sonnenwärme hinweg, so bleibt auf der Erde nur eine einzige Bewegung des Wassers noch übrig, nämlich Ebbe und Flut, welche durch die Anziehung der Sonne und des Mondes hervorgerufen werden. 15

Wie ist es nun mit den Bewegungen und der Arbeit der organischen Wesen? Jenen Erbauern der Automaten des achtzehnten Jahrhunderts erschienen Menschen und Tiere als Uhrwerke, welche nie aufgezogen würden und die sich ihre Triebkraft aus nichts schafften; man 20 wusste die aufgenommene Nahrung noch nicht in Verbindung zu setzen mit der Krafterzeugung. Seitdem wir aber an der Dampfmaschine diesen Ursprung von Arbeitskraft kennen gelernt haben, müssen wir fragen: Verhält es sich beim Menschen nicht ähnlich? In der Tat ist 25 die Fortdauer des Lebens an die fortdauernde Aufnahme von Nahrungsmitteln gebunden. Diese sind verbrennliche Substanzen, welche, nachdem sie nach vollendeter Verdauung in die Blutmasse übergegangen sind, in den Lungen einer langsamen Verbrennung unterworfen wer- 30

den und schliesslich in dieselben Verbindungen mit dem Sauerstoffe° der Luft übergehen, wie sie bei einer Verbrennung in offenem Feuer entstehen würden. Da die Quantität der durch Verbrennung erzeugten Wärme unabhängig ist von der Dauer der Verbrennung und von den Zwischenstufen, in denen sie erfolgt, so können wir auch aus der Masse des verbrauchten Materials berechnen, wie viel Wärme oder dieser äquivalente Arbeit[1] dadurch von einem Tierkörper erzeugt werden kann. Leider sind die Schwierigkeiten der Versuche noch sehr gross; innerhalb derjenigen Grenzen der Genauigkeit aber, welche dabei bis jetzt erreicht werden konnte, zeigen sie, dass die im Tierkörper wirklich erzeugte Wärme der durch die chemischen Prozesse zu liefernden entspricht.[2] Der Tierkörper unterscheidet sich also durch die Art, wie er Wärme und Kraft gewinnt, nicht von der Dampfmaschine, wohl aber durch die Zwecke, zu welchen und die Weise, in welcher er die gewonnene Kraft weiter benutzt. Er ist ausserdem in der Wahl seines Brennmaterials beschränkter als die Dampfmaschine. Letztere würde mit Zucker, Stärkemehl° und Butter ebenso gut geheizt werden können als mit Steinkohlen und Holz; der Tierkörper muss sein Brennmaterial künstlich auflösen und durch seinen Organismus verteilen; er muss ferner das leicht abnutzbare Material seiner Organe fortdauernd erneuern, und, da er die dazu nötigen Stoffe nicht selbst bilden kann, sie von aussen aufnehmen. L i e b i g[3] hat zuerst auf diese wesentlich verschiedenen Bestimmungen der aufgenommenen Nahrung aufmerksam gemacht. Als Bildungsmaterial für den fortwährenden

Neubau des Körpers können, wie es scheint, nur bestimmte eiweissartige° Stoffe benutzt werden, welche in den Pflanzen vorkommen und auch die Hauptmasse des Tierkörpers bilden. Aus ihnen besteht nur ein kleiner Teil der täglichen Nahrungsmasse; die übrigen Nahrungsstoffe, wie Zucker, Stärkemehl und Fett, sind in der Tat nur Heizungsmaterial; vielleicht sind sie nur desnalb durch Steinkohlen nicht zu ersetzen, weil diese sich nicht auflösen lassen.

Wenn sich die Prozesse der organischen Körper in dieser Beziehung nicht von den unorganischen unterscheiden, so entsteht die Frage: woher kommen die Nahrungsmittel, welche für den Tierkörper die Quelle der Kraft sind? Die Antwort ist: aus dem Pflanzenreiche. Denn nur die Pflanzenstoffe oder das Fleisch pflanzenfressender Tiere können als Nahrungsmittel verbraucht werden. Die pflanzenfressenden Tiere bilden nur eine Zwischenstufe, welche den Fleischfressern, denen wir hier auch den Menschen beigesellen müssen, Nahrung zubereitet aus solchen Pflanzenstoffen, die jene nicht selbst unmittelbar als Nahrung gebrauchen können. Im Gras und im Heu sind im Wesentlichen dieselben nährenden Substanzen enthalten, wie im Getreidemehl, nur in geringerer Quantität. Da aber die Verdauungsorgane des Menschen nicht im Stande sind, die geringe Menge des Brauchbaren aus dem grossen Überschusse des Unlöslichen auszuziehen, so unterwerfen wir diese Stoffe zunächst den mächtigen Verdauungsorganen des Rindes, lassen die Nahrung in dessen Körper aufspeichern, um sie schliesslich in angenehmerer und brauchbarerer Form

für uns zu gewinnen. Wir werden also mit unserer Frage auf das Pflanzenreich zurückgewiesen. Untersucht man nun die Einnahme und Ausgabe der Pflanzen, so findet man, dass ihre Haupteinnahme in den Verbrennungsprodukten besteht, welche das Tier erzeugt. Sie nehmen den bei der Atmung verbrannten Kohlenstoff,° die Kohlensäure,° aus der Luft, den verbrannten Wasserstoff° als Wasser, den Stickstoff,° ebenfalls in seiner einfachsten und engsten Verbindung, als Ammoniak° auf, und erzeugen aus diesen Stoffen mit Beihülfe weniger, aus dem Boden aufgenommener Bestandteile von neuem die zusammengesetzten verbrennlichen Substanzen, Eiweiss, Zucker, Öl, von denen das Tier lebt. Hier scheint also ein Zirkel zu sein, der eine ewige Kraftquelle° ist. Die Pflanzen bereiten Brennmaterial und Nährstoffe, die Tiere nehmen diese auf, verbrennen sie langsam in ihren Lungen; von den Verbrennungsprodukten leben wieder die Pflanzen. Diese sind eine ewige Quelle chemischer, jene mechanischer Kraftgrössen.° Sollte die Verbindung beider organischen Reiche das Perpetuum° mobile herstellen? Wir dürfen nicht so schnell schliessen; weitere Untersuchung ergibt, dass die Pflanzen verbrennliche Substanz nur unter dem Einflusse des Sonnenlichtes zu bereiten vermögen. Ein Teil der Sonnenstrahlen zeichnet sich durch merkwürdige Beziehungen zu den chemischen Kräften aus, kann chemische Verbindungen schliessen und lösen; man nennt deshalb diese Strahlen, welche meist von blauer oder violetter Farbe sind, chemische Strahlen. Wir benutzen ihre Wirksamkeit namentlich bei der Anfertigung von Lichtbildern.° Hier sind es

Verbindungen des Silbers, die an den Stellen, wo sie von den Lichtstrahlen getroffen werden, sich zersetzen. Dieselben Sonnenstrahlen trennen in den grünen Pflanzenblättern die mächtige chemische Verwandtschaft° des Kohlenstoffs, der Kohlensäure zum Sauerstoffe, geben 5 letzteren frei der Atmosphäre zurück, und häufen ersteren mit anderen Stoffen verbunden als Holzfaser, Stärkemehl, Öl, oder Harz in der Pflanze an. Diese chemisch wirkenden Strahlen des Sonnenlichtes verschwinden vollständig, sobald sie grüne Pflanzenteile treffen; daher 10 erscheinen denn auch die grünen Pflanzenblätter auf Photographien so gleichmässig schwarz, weil das von ihnen kommende Licht, dem die chemischen Strahlen fehlen, auch auf Silberverbindungen nicht mehr wirkt. Ausser den blauen und violetten Strahlen spielen auch 15 die gelben eine hervorragende Rolle bei dem Wachstum der Pflanzen. Auch sie werden durch die Pflanzenblätter verhältnismassig stark absorbirt.

Es verschwindet also wirkungsfähige° Kraft des Sonnenlichtes, während verbrennliche Stoffe in den 20 Pflanzen erzeugt und aufgehäuft werden, und wir können als sehr wahrscheinlich vermuten, dass der erste Vorgang der Grund des zweiten ist. So ergibt sich daraus für uns das schmeichelhafte Resultat, dass alle Kraft, vermöge deren unser Körper lebt und sich bewegt, 25 ihren Ursprung direct aus dem reinsten Sonnenlichte herzieht, und dass wir alle an Adel der Abstammung dem grossen Monarchen des chinesischen Reiches, der sich den Sohn der Sonne nennt, nicht nachstehen. Freilich teilen diesen ätherischen Ursprung auch alle unsere nie- 30

deren Mitgeschöpfe,° die Kröte und der Blutegel, die ganze Pflanzenwelt und selbst das Brennmaterial, urweltliches° wie jüngst gewachsenes, womit wir unsere Öfen und Maschinen heizen.

So sehen Sie denn, dass der ungeheure Reichtum immer neu wechselnder meteorologischer, klimatischer, geologischer und organischer Vorgänge auf unserer Erde fast allein durch die leuchtenden und wärmenden Strahlen der Sonne im Gange erhalten wird, und Sie haben daran ein auffallendes Beispiel, wie in der Natur die Wirkungen einer Ursache unter abgeänderten äusseren Bedingungen proteusartig[1] wechseln können. Die Erde erleidet ausserdem noch eine andere Art der Einwirkung, sowohl von ihrem Zentralgestirne, der Sonne, als von ihrem Trabanten,° dem Monde, welche sich in den merkwürdigen Phänomenen der Ebbe und Flut des Meeres zu erkennen gibt.

Jedes dieser Gestirne erregt durch seine Anziehung auf das Meereswasser zwei riesige Wellen, welche in derselben Richtung um die Erde laufen, wie es scheinbar die Gestirne tun. Die beiden Wellen des Mondes sind wegen seiner grösseren Nähe etwa 3½mal so gross, als die beiden von der Sonne erregten Wellen. Die eine dieser Mondwellen hat ihren Höhepunkt auf dem Viertel der Erdoberfläche, welches dem Monde zugekehrt ist, die andere auf dem gerade entgegengesetzten. Diese beiden Viertel haben Flut, die dazwischenliegenden haben Ebbe. Im offenen Meere beträgt die Höhe der Flut nur etwa drei Fuss, sie steigert sich aber in einzelnen engen Kanälen, wo das bewegte Wasser zusammengedrängt ist,

bis gegen 30 Fuss. Die Mächtigkeit des Phänomens geht am besten aus der Berechnung von Bessel[1] hervor; danach besitzt ein vom Meere bedecktes Viertel der Erdoberfläche während seiner Flutzeit etwa 200 Kubikmeilen Wasser mehr als während der Ebbe; eine solche 5 Wassermasse muss also während 6¼ Stunden von einem Erdviertel zum andern fliessen.

Schon Robert Mayer[2] hat erkannt, dass das Phänomen der Ebbe und Flut, verbunden mit dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft, in einer merkwürdigen 10 Beziehung steht zu der Frage von der Beständigkeit unseres Planetensystems. Die von Newton gefundene mechanische Theorie der Planetenbewegungen lehrt, dass, wenn ein fester Körper im absolut leeren Raume, von der Sonne angezogen, sich in der Weise der Planeten 15 um diese bewegt, seine Bewegung unverändert weiterbestehen wird bis in alle Ewigkeit.

Nun haben wir in Wirklichkeit nicht einen, sondern viele Planeten, welche sich um die Sonne bewegen und in deren Bahnen durch gegenseitige Anziehung kleine 20 Veränderungen und Störungen hervorgebracht werden. Indessen hat Laplace[3] in seinem grossen Werke: „la Mécanique céleste“ nachgewiesen, dass in unserem Planetensysteme alle diese Störungen periodisch zu- und abnehmen, dass sie nie gewisse Grenzen überschreiten 25 können, dass also dadurch für alle Ewigkeit das Bestehen des Planetensystems nicht gefährdet werde.

Aber ich habe schon zwei Voraussetzungen genannt, welche gemacht werden mussten: erstens, dass der Weltraum absolut leer sei, zweitens, dass Sonne und 30

Planeten feste Körper seien. Das erstere ist wenigstens insofern der Fall, als man, so weit die astronomischen Beobachtungen zurückreichen, noch keine solche Veränderung in der Bewegung der Planeten hat entdecken können, wie sie ein widerstehendes Mittel° hervorbringen würde. Aber an einem kleineren Himmelskörper von geringer Masse, dem Enckeschen Kometen,[1] finden sich Veränderungen solcher Art; er beschreibt immer enger werdende Ellipsen um die Sonne. Wenn diese Art der Bewegung, die allerdings der in einem widerstehenden Mittel entspricht, wirklich von einem solchen herrührt, so wird eine Zeit kommen, wo der Komet in die Sonne stürzt. Auch den Planeten droht endlich ein solcher Untergang, wenn auch erst nach Zeiträumen, von deren Länge wir uns keinen Begriff machen können. Aber wenn uns auch die Existenz eines widerstehenden Mittels zweifelhaft erscheinen könnte, so ist dagegen unzweifelhaft, dass die Planeten nicht ganz aus festen und unbeweglich verbundenen Massen bestehen. Zeichen von vorhandenen Atmosphären sind an der Sonne, der Venus, dem Mars, dem Jupiter und dem Saturn gefunden, Zeichen von Wasser und Eis auf dem Mars; unsere Erde hat unzweifelhaft einen flüssigen Teil an ihrer Oberfläche, und vielleicht einen noch grösseren in ihrem Innern. Die Bewegungen der Ebbe und Flut in den Meeren, wie in den Atmosphären geschehen aber mit Reibung; jede Reibung vernichtet lebendige° Kraft; der Verlust kann in diesem Falle nur die lebendige Kraft der Planetenbewegungen treffen. Wir kommen dadurch zu dem unvermeidlichen

Schluss, dass jede Ebbe und Flut fortdauernd und, wenn auch unendlich langsam, doch sicher den Vorrat von mechanischer Kraft des Systemes verringert, wobei sich dann die Axendrehung° der betreffenden Planeten verlangsamen muss. In der Tat ist eine solche Verzögerung für die Erde durch die neueren sorgfältigen Untersuchungen der Mondbewegung von Hansen,[1] Adams und Delaunay nachgewiesen worden. Nach Ersterem hat seit Hipparch[2] die Dauer jedes Sterntages° um $^1/_{81}$ Sekunde, die Dauer eines Jahrhunderts um eine halbe Viertelstunde zugenommen; nach William Thomson[3] und Adams wäre die Zunahme fast doppelt so gross. Eine Uhr, die zu Anfang eines Jahrhunderts richtig ginge, würde zu Ende des Jahrhunderts der Erde um 22 Sekunden vorausgeeilt[4] sein. Laplace hatte die Existenz einer solchen Verzögerung der Umdrehung der Erde geleugnet; um ihren Betrag zu finden, musste die Theorie der Mondbewegung erst viel genauer entwickelt werden, als das zu seiner Zeit möglich war. Der endliche Erfolg dieser Verzögerung vom Erdumlaufe° wird sein, aber erst nach Millionen von Jahren, falls das Meer nicht inzwischen eingefroren ist, dass sich eine Seite der Erde konstant der Sonne zukehren und ewigen Tag, die entgegengesetzte Seite dagegen ewige Nacht haben würde. Eine solche Stellung finden wir an unserem Monde in bezug auf die Erde und auch an anderen Trabanten in bezug auf ihre Planeten; sie ist vielleicht die Wirkung der gewaltigen Ebbe und Flut, denen einst diese Körper zur Zeit ihres feurigflüssigen[5] Zustandes unterworfen gewesen sind.

Ich würde diese Schlüsse, welche uns wieder in die fernste Ferne zukünftiger Zeiten hinausführen, nicht beigebracht haben, wenn sie nicht eben unvermeidlich wären. Physikalisch-mechanische Gesetze sind wie Teleskope unseres geistigen Auges; sie dringen in die fernste Nacht der Vergangenheit und Zukunft.

Eine andere wesentliche Frage für die Zukunft unseres Planetensystems ist die seiner künftigen Temperatur und Erleuchtung. Da die innere Wärme des Erdballs wenig Einfluss auf die Temperatur der Erdoberfläche hat, kommt es hier wesentlich auf die von der Sonne ausströmende Wärme an. Es kann gemessen werden, wie viel Sonnenwärme hier auf der Erde in einer gegebenen Zeit eine gegebene Fläche trifft, und daraus kann berechnet werden, wie viel Wärme in einer gewissen Zeit von der Sonne ausgeht. Dergleichen Messungen sind von dem französischen Physiker Pouillet[1] ausgeführt worden. Nach diesen gibt die Sonne so viel Wärme ab, dass, um diese durch Verbrennung zu erzeugen, an ihrer ganzen Oberfläche stündlich eine Schicht dichtesten Kohlenstoffs° von etwa 10 Fuss Mächtigkeit,° in einem Jahre also etwa eine Schicht von 3½ Meilen,[2] abbrennen müsste. Würde diese Wärme dem ganzen Sonnenkörper gleichmässig entzogen, so würde dessen Temperatur jährlich doch nur um 1,96 Grad C.[3] erniedrigt werden, wenn wir seine Wärmekapazität der des Wassers gleichsetzten. Diese Angaben können uns wohl die Grösse der Ausgabe im Verhältnis zur Oberfläche und zum Inhalte der Sonne anschaulich machen; sie können uns aber keinen Auf-

schluss° darüber geben, ob die Sonne nur als glühender Körper die Wärme ausstrahlt, die seit ihrer Entstehung in ihr angehäuft ist, oder ob fortdauernd eine Neuerzeugung von Wärme vermöge chemischer Prozesse an ihrer Oberfläche stattfindet. Jedenfalls lehrt uns unser Gesetz von der Erhaltung° der Kraft, dass kein Prozess, der den auf der Erde bekannten analog ist,[1] in der Sonne die Wärme- und Lichtausstrahlung für ewige Zeiten unerschöpflich unterhalten kann. Aber dasselbe Gesetz lehrt uns auch, dass die vorhandenen Kraftvorräte, die als Wärme schon existieren oder die einst zu Wärme werden können, noch für unermesslich lange Zeiten ausreichen. Über die Vorräte von chemischer Kraft in der Sonne können wir nichts mutmassen, die in ihr aufgehäuften Wärmevorräte nur durch sehr unsichere Schätzungen° bestimmen. Wenn wir aber der sehr wahrscheinlichen Ansicht folgen, die von den Astronomen gefundene, für ein Gestirn von so grosser Masse auffallend geringe Dichtigkeit sei durch die hohe Temperatur bedingt° und könne mit der Zeit grösser werden, so lässt sich berechnen, dass, wenn der Durchmesser der Sonne sich nur um den zehntausendsten Teil seiner jetzigen Grösse verringerte, dadurch hinreichend viel Wärme erzeugt würde, um die ganze Ausgabe für 2100 Jahre zu decken. Eine so geringe Veränderung des Durchmessers würde übrigens durch die feinsten astronomischen Beobachtungen nur mit Mühe erkannt werden können.

In der Tat hat sich seit der Zeit, von der wir historische Nachrichten haben, also seit etwa 4000 Jahren,

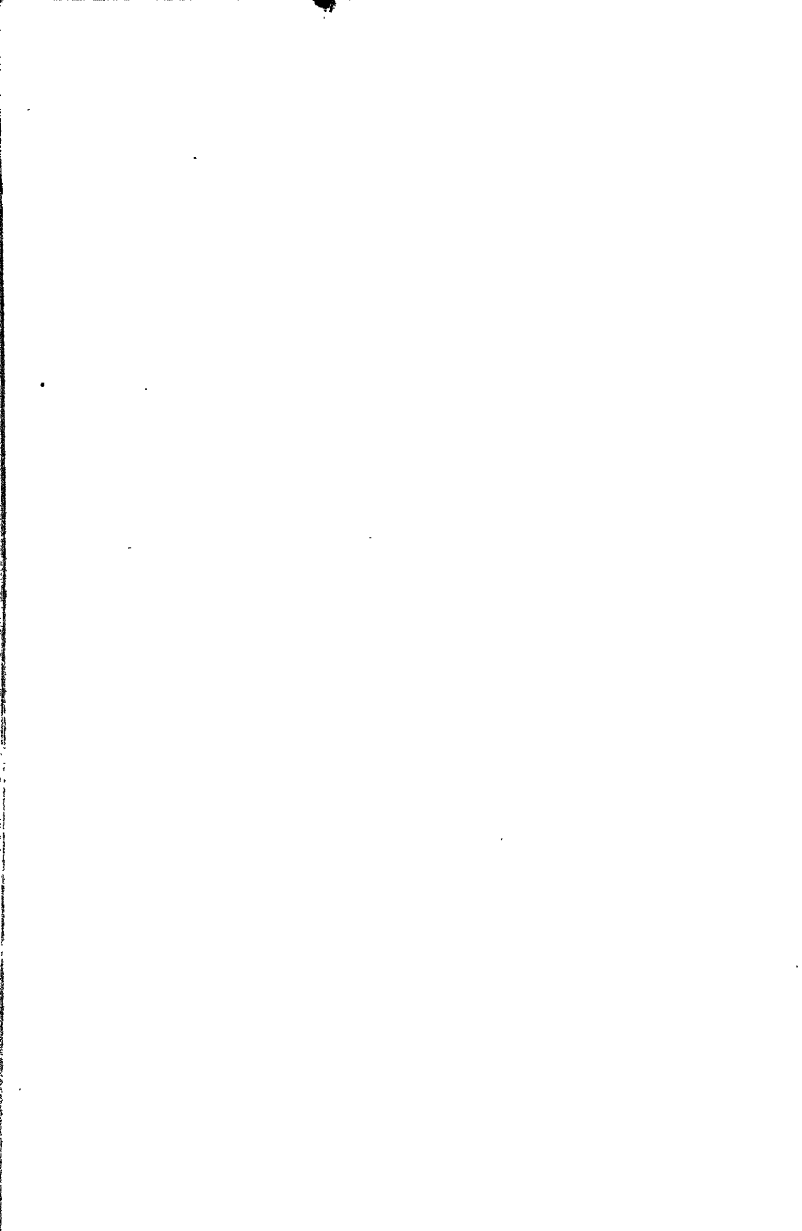
die Temperatur der Erdoberfläche nicht merklich verringert. Wir haben aus so alter Zeit allerdings keine Beobachtungen am Thermometer, aber wir haben Angaben über die Verbreitung einiger Kulturpflanzen, wie Weinstock und Ölbaum, welche gegen Änderungen der mittleren Jahrestemperatur sehr empfindlich sind, und finden, dass diese Pflanzen noch jetzt genau dieselbe Verbreitungsgrenze° haben, wie zu den Zeiten des Abraham und Homer, woraus denn rückwärts auf die Beständigkeit des Klima zu schliessen ist.

Aber wenn auch die Kraftvorräte unsers Planetensystems so ungeheuer gross sind, dass sie durch die fortdauernden Ausgaben innerhalb der Dauer unserer Menschengeschichte nicht merklich verringert werden konnten, wenn sich auch die Länge der Zeiträume noch gar nicht ermessen lässt, welche vorbeigehen müssen, ehe merkliche Veränderungen in dem Zustande des Planetensystems eintreten können, so weisen doch unerbittliche mechanische Gesetze darauf hin, dass diese Kraftvorräte, welche nur Verlust, keinen Gewinn erleiden können, endlich erschöpft werden müssen. Sollen wir darüber erschrecken? Die Menschen pflegen die Grösse und Weisheit des Weltalls danach abzumessen, wie viel Dauer und Vorteil es ihrem eigenen Geschlechte verspricht; aber schon die vergangene Geschichte des Erdballs zeigt, wie winzig der Augenblick in seiner Dauer ist, der die Existenz des Menschengeschlechts ausgemacht hat. Ein wendisches[1] Tongefäss, ein römisches Schwert, das wir im Boden finden, erregt in uns

die Vorstellung des grauen Altertums; was uns die Museen Europas von den Überbleibseln Ägyptens° und Assyriens zeigen, sehen wir mit schweigendem Staunen an und verzweifeln, uns zu der Vorstellung einer so weit zurückliegenden Zeitperiode aufzuschwingen; und doch 5 musste das Menschengeschlecht schon Jahrtausende bestanden und sich vermehrt haben, ehe die Pyramiden, ehe Ninive° gebaut werden konnten. Wir schätzen die Menschengeschichte auf 6000 Jahre; so unermesslich uns dieser Zeitraum auch erscheinen mag, wo bleibt er 10 gegen die Zeiträume, während welcher die Erde schon eine lange Reihenfolge jetzt ausgestorbener, einst üppiger und reicher Tier- und Pflanzengeschlechter, aber keine Menschen trug; während welcher in unserer Gegend der Bernsteinbaum[1] grünte und sein kostbares 15 Harz in die Erde und das Meer träufelte, während in Sibirien, in Europa und im Norden Amerikas tropische Palmenhaine wuchsen, Rieseneidechsen[2] und später Elefanten hausten, deren mächtige Reste wir noch im Erdboden begraben finden? Verschiedene Geologen haben 20 nach verschiedenen Anhaltspunkten° die Dauer jener Schöpfungsperiode zu schätzen gesucht und schwanken zwischen 1 und 9 Millionen von Jahren. Und wiederum war die Zeit, da die Erde organische Wesen erzeugte, nur klein gegen die, da sie ein Ball geschmolzenen Ge- 25 steins gewesen ist. Für die Dauer ihrer Abkühlung von 2000 auf 200 Grad ergeben sich nach den Versuchen von Bischof[3] über die Erkaltung geschmolzenen Basalts etwa 350 Millionen Jahre. Und über die Zeit, als

sich der Ball des Urnebels° zum Planetensystem verdichtete, müssen unsere kühnsten Vermutungen schweigen. Die bisherige Menschengeschichte war also nur eine kurze Welle in dem Ozean der Zeiten. Für viele lange Reihen von Jahrtausenden, länger als unser Geschlecht sie bisher erlebte, scheint der jetzige, seinem Bestehen günstige Zustand der unorganischen Natur gesichert zu sein, so dass wir für uns und für lange, lange Reihen von Generationen nach uns nichts zu fürchten haben. Aber noch arbeiten an der Erdrinde dieselben Kräfte der Luft, des Wassers und des vulkanischen Innern, die frühere geologische Revolutionen verursacht und eine Reihe von Lebensformen nach der andern begraben haben. Sie werden wohl eher den jüngsten Tag[1] des Menschengeschlechts herbeiführen als jene weit entlegenen kosmischen° Veränderungen, die wir früher besprachen und die uns zwingen, vielleicht neuen, vollkommeneren Lebensformen Platz zu machen, wie die Rieseneidechsen und Mammuts uns und unseren jetzt lebenden Mitgeschöpfen° einst Platz gemacht haben.

So hat uns der Faden, den diejenigen in Dunkelheit angesponnen haben, die dem Traume des Perpetuum mobile nachfolgten, zu einem allgemeinen Grundgesetze° der Natur geführt, welches Lichtstrahlen in die fernen Nächte des Anfangs und des Endes der Geschichte des Weltalls aussendet. Auch unserm eigenen Geschlechte will dieses Gesetz ein langes, aber kein ewiges Bestehen zulassen; es droht ihm mit einem Tage des Gerichtes, dessen Eintrittszeit° es glücklicherweise noch verhüllt.

Wie der einzelne, so muss auch das Geschlecht den Gedanken seines Todes ertragen; aber es hat vor anderen untergegangenen Lebensformen höhere sittliche Aufgaben voraus,[1] deren Träger es ist und mit deren Vollendung es seine Bestimmung erfüllt. 5

NOTES

Page 1. — 1. so . . . auch, *however.*

Page 2. — 1. aus eigener Anschauung, *from personal observation.*

2. Ruhiges, gesetzmässiges und segensreiches Walten, *a peaceful, uniform and beneficent sway.*

Page 3. — 1. in der Richtung nach . . . hin, *in the direction of;* hin merely supplements nach and need not be translated.

2. in der Tiefe, *below.*

3. Dazu kommt noch eine andere in demselben Sinne wirkende Eigentümlichkeit der Luft, *to this must be added another peculiarity of the air which acts in the same direction.* In these constructions which are very common in scientific German, the student should note that the article is separated from the noun by a participial clause. To translate connect the article (and following adjective) at once with its noun and substitute a relative clause for the participial adjective.

Page 4. — 1, z. B. abbreviation for zum Beispiel, *for example.*

2. angezeigt, *indicated,* see page 3, note 3.

3. um 16 bis 25° R., *from 16 to 25° Réamur* = 68 to 88° Fahrenheit. René Réamur, a French physicist (1683–1757) invented a thermometer in which the distance between the freezing and the boiling point of water was divided into 80 degrees. This thermometer is still in common use in Germany, although Centigrade is employed for all scientific purposes.

4. Föhnwind or Föhn, (Lat. *favonius,* the west wind) is the Swiss name for the damp, warm wind coming from the south which in fall and spring often blows with the force of a hurricane.

5. 1 Grad Réamur = 2¼° F.

of physics in Edinburg (1833–1860) became famous through his accurate observations of glacial formations in Switzerland and Norway. His survey of the *Mer de Glace* was for many years the only correct Alpine map in existence.

Page 14. — 1. **Hugi,** Franz Joseph (1796–1855), Swiss scientist and professor of physics at Solothurn. His glacial theories were given to the world in his works: *Uber das Wesen der Gletscher,* 1842, and *Die Gletscher und die Erratischen Blöcke,* 1843.

2. **Unter-Aargletscher,** see page 9, note 1. It was on this glacier that the first measurements of the movements of glaciers were made as related in the text. The hut mentioned has long since disappeared.

3. **Agassiz,** Louis (1807–1873), the well-known scientist and profossor of zoology at Harvard. In 1840 he repeatedly investigated the Alpine glaciers, living for some time in a rude hut on the *Aarglacier.* His investigations appeared in a magnificently illustrated work, *Études sur les Glaciers.*

Page 15. — 1. **in der Höhe,** *on the mountain tops.*

2. **ohne durch sie einen in Betracht kommenden Widerstand zu erfahren,** *without experiencing any appreciable resistance from them; in Betracht kommen,* lit., "to come into consideration."

3. **nämlich,** as used here and in many similar cases has an explanatory force not readily rendered in English; it may be omitted here, or translated: *as is well known.*

4. **gegen,** *with respect to.*

Page 16. — 1. **Görnergletscher,** six miles long, is the largest glacier of the *Monte Rosa* group in the Pennine Alps and next to the *Aletsch glacier* (p. 10, 3), the largest of all the Alpine glaciers.

Page 19. — 1. **ziemlich gestreckt quer,** *in tolerably straight lines transversely.*

Page 20. — 1. **Aar,** the largest Swiss tributary of the Rhine, rising on the Aar glacier and emptying into the Rhine opposite *Waldshut.*

2. **Monte Rosa,** next to *Mont Blanc,* the highest mountain range of the Alps located S. E. of *Zermatt.* The highest peak is about 15,208 ft. high. — **Gotthard,** *Saint Gothard,* high mountain range in

the western part of Switzerland, once the most frequented pass, now noted for its hospice for rescuing travellers and for its famous tunnel 9¼ m. long.—**Berner Alpen**, *the Bernese Alps*, located in the Canton of Berne and belonging to the western group of Alps. They contain about 80 glaciers of which the *Aletsch* and the *Aar* glaciers are the most important.—**Arve**, see page 10, note 6.

3. **Jura**, picturesque mountain range forming the frontier between France and Switzerland, in the shape of a huge plateau 156 m. long and 38 m. broad, ranging from 1950 to 2600 ft. in height.

4. **des Sees von Neufchatel**, *the Lake of Neufchâtel*, one of the larger lakes of Switzerland, situated in the western part 18 miles north of the Lake of Geneva.

Page 21.—1. **Märjelensee**, a dark green lake about one mile long situated 7710 ft. high between the *Eggishorn* and the *Märjelenalp*. Large blocks of ice breaking off the *Aletsch* glacier float on its surface as drift-ice.

2. **Aletschgletscher**, see page 10, note 3.

3. **verschiebt sich in sich selbst**, *its different parts are relatively displaced*.

Page 22.—1. **Rendu Louis** (1789–1859), a French *Abbé* and professor of literature and physics of the Royal College of *Chambery*. His geological theories are to be found in his work, *Traité de physique*, 1823.

2. **Forbes**, see page 13, note 4.

3. **Tyndall**, see page 10, note 9.

4. **weit abliegend**, *remote, unrelated*.

Page 25.—1. **James Thomson**, (1822–1892) older brother of Lord Kelvin, professor of engineering in Glasgow, famous for his discovery that the freezing point of water varies with the pressure.

2. **Clausius**, Rudolf, (1822–1888), professor of physics at the polytechnic school of Zurich and later at the University of Zurich. He devoted himself to investigating the mechanical theory of heat.

3. $\frac{1}{144}°$ R. $= \frac{1}{64}°$ F.

4. **William Thomson**, *Lord Kelvin*, the well-known English physicist born 1824 at Belfast, became professor of physics at Glasgow 1846. His experiments together with those of Clausius contributed more than those of any one else to the development of the modern theory of heat.

Page 27. — 1. **Faraday,** Michael (1791–1867), well-known English chemist especially noted for his discoveries in electricity.

2. **im kleinen,** *on a small scale.*

Page 29. — 1. **trübe durchscheinend,** *dimly translucent.*

Page 30. — 1. **in eine jede beliebige Form,** *in any desired form.*

Page 31. — 1. **man sieht es dem Ganzen an,** *one can tell by the appearance of the whole.*

Page 32. — 1. **im kleinen,** see page 27, note 2.

Page 33. — 1. **stecknadelknopf- bis erbsengrosser Eiskörner,** *granules of ice as large as the head of a pin or pea.*

Page 36. — 1. **Genfer See,** *Lake Geneva;* **Thuner See,** *Lake of Thun;* **Vierwaldstätter See,** *Lake of the Four Forest Cantons; lake Lucerne,* well known Swiss lakes. — **Bodensee,** *Lake Constance,* lake 40 m. long lying between Germany, Austria and Switzerland. — **Lago Maggiore** or *Lake of Locarno,* lake in Northern Italy, about 37 m. long. — **Comer See,** *Lake Como, Lago di Como,* lake 30 m. long in Lombardy, considered by many the most beautiful of the Italian lakes. — **Garda See,** *Lake of Garda, Lago di Garda,* largest lake of Northern Italy about 35 m. in length.

Page 37. — 1. **Etsch,** *Adige,* river of Northern Italy formed by streams from the Helvetian Alps and emptying into the Gulf of Venice.

2. **Inn,** one of the principal tributaries of the Danube, rising in the *Engadine* in Switzerland, flowing through the Tyrol and Bavaria and emptying into the Danube at *Passau.*

3. **Mahomet's Gesang,** *Song of Mohammed.* These magnificent lines describing the flow of a river from its source, how it is gradually swelled by other mountain brooks, all anxiously hurrying to meet their father Ocean, until at last it rolls in triumphant majesty on its way to the sea, originally belonged to one of Goethe's early dramatic plans, of which Mohammed was to be the hero. The song appeared first as a dialogue between Ali and Fatima (M.'s wife) in praise of the prophet (1774). The project remaining a fragment, the poem was later introduced into the collection of Goethe's lyrics. See Goethe's account of his plan at the close of the 15th book of *Wahrheit und Dichtung.*

Page 39. — 1. **Beethoven,** the greatest of modern composers was born in Bonn on the Rhine Dec. 16, 1770.

2. **auf,** *as to, with reference to.*

Page 40. — 1. **„Zergliederung ihrer Freuden,"** *analysis of their pleasures.* This quotation is probably a reminiscence of one of Goethe's poems of his Leipzig period, entitled *Die Freuden,* which contains the expression *Zergliederer deiner Freuden.*

2. **die stoffloseste, flüchtigste und zarteste Urheberin,** *the most immaterial, evenascent and delicate cause.*

3. **u. s. w.** abbreviation of **und so weiter,** *and so forth, etc.,*

Page 41. — 1. **näher der Rolle nachging,** *investigated more closely the part,* etc.

2. **Pythagoras,** well-known Greek philosopher who flourished in the sixth century B. C. and founded a school of philosophy devoted to the study of mathematics. To him is ascribed the discovery of the law of musical intervals.

Page 44. — 1. **Savart,** Felix (1791–1841) noted for his investigations of the vibrations of bodies and of the organs of speech.

2. **'abgesehen von den Kraftleistungen himmelstürmischer Virtuosen,** *apart from the feats of heaven-scaling* (lit. "*storming*") *virtuosos.*

Page 45. — 1. **Despretz,** Charles (1789–1863) French physicist and professor of physics at Paris, whose investigations had a great influence upon the development of this science. His first scientific work concerned itself with latent heat and the elasticity of gases, He also studied the cause of animal heat, compressibility of liquids and the density of gases at various pressures. From 1848 on he experimented chiefly with electricity.

2. **aus dem bisher Angeführten,** *from what has been adduced thus far.*

Page 46. — 1. **Die Sirene,** *siren,* a well-known acoustical instrument consisting essentially of a wooden or metallic disc revolving over a jet of compressed air or steam, so as to produce periodic puffs. When the revolutions are rapid enough the puffs coalesce into a musical tone. (*Cent. Dict.*) In the original lecture a siren was shown to the audience.

Page 48. — 1. in sich geschlossene senkrecht stehende Kreisbahnen, *completely circular vertical orbits* or *paths.*

Page 50. — 1. die Stärke der abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen, *the size of the alternating condensations and rarefactions.*

Page 51. — 1. wenn man sie umgekehrt in die Täler legte, *if one placed them inverted in the troughs.*

Page 53. — 1. Samland, a peninsula in the district of Königsberg, East Prussia, extending into the Baltic Sea. Originally an independent bishopric, it was annexed to Prussia in 1525.

Page 54. — 1. in der Fläche, *horizontally.*

Page 55. — 1. statt sich zu summiren, abzuziehen sind, *instead of being added, are to be subtracted.*

2. welche den Schallwellenzügen, einzeln genommen, zukommen, lit., "which belong to the groups of sound waves taken singly;" trans., *which the single groups of sound waves possess.*

Page 57. — 1. von mässiger Breite, *of moderate size.*

2. die . . . erregte Bewegung verstärkt, *increases the movement produced by.* etc.

Page 59. — 1. Felsenbein, *petrous bone,* part of the temporal bone so named because of its dense, compact structure.

2. Marchese Corti, *Marquis of Corti* (1729–1813) celebrated Italian anatomist, who discovered the *organ of Corti,* a series of some 3000 arches upon the floor of the basilar membrane in the *cochlea* of the inner ear.

Page 60. — 1. wird es nicht umhin können, *it can not avoid.*

2. Fourier, Jean Baptiste (1768–1830) became professor of mathematics at 18, accompanied Napoleon on his Egyptian campaign and was made prefect of the department of *Isere* on his return. His most famous work is his, *Analytic theory of heat,* 1822.

Page 61. — 1. indem sie fortgeht, *while moving on.*

Page 64. — 1. trotz dem besten Mathematiker, *as well as the best mathematician;* trotz which generally means "in spite of," acquires at times the meaning of "in rivalry with" and then "as

well as." Cf. Lessing's use of it in this meaning in his, *Nathan*, ll. 411 and 1067.

2. der Corti'schen Organe, see page 59, note 2.

Page 65. — 1. streng genommen, *strictly speaking.*

Page 66. — 1. Anhänger des praktischen Nutzens, *utilitarians.*

2. sogenannte fliegende Mücken, *so-called muscae volitantes* (dancing midges or flies). These are specks floating in the air before the eyes, supposed to be due to opaque points in the vitreous humour of the eye. (*Cent. Dict.*)

Page 68. — 1. es kommt dabei nicht auf . . . an, *it is not a question of.*

2. das ungestrichene es, *the middle E flat of the bass clef.*

3. das b der nächst höheren eingestrichenen Oktave, *B flat of the next higher one-accented octave* (middle B flat of the treble clef).

4. leicht anzustellender Versuch, *experiment which can easily be made;* anzustellend is the gerundive similar in use to the Latin gerundive. Cf. the English expression a never-to-be-forgotten song. Originally not connected with either infinitive or participle (cf. M. H. G. ze lesenne) it later became confused with both.

Page 69. — 1. Es kommt nur darauf an, *it is only necessary.*

Page 70. — 1. die Berge . . . voreilen, *the crests of the one will outstrip those of the other.*

Page 71. — 1. getragene Musik, *sustained music.*

Page 77. — 1. der, is dative in apposition with Empfindung.

2. Die Asthetik . . . . Vernunftmässigkeit, *Esthetics seeks the principle of artistic beauty in its unconscious conformity to law* (lit., "rationality.")

3. Gebiet des bewussten Vorstellens, *domain of consciousness.*

4. Die Erscheinungen des rein sinnlichen Wohlklanges, *the phenomena of purely physical harmony.*

5. um in ihr besänftigt zu verweilen, *to rest* (lit., "tarry") *in it tranquilized.*

6. So treiben . . . der Töne, *thus both alternately accelerate and retard the rhythm* (lit., "flow") *of the tones.*

Page 78. — 1. Bald sanft dahin fliessend . . . arbeitend, *now*

gently gliding, now gracefully leaping, now greatly excited, palpitating with or violently agitated by the inarticulate sounds (Naturlauten) *of passion.*

Page 79. — 1. **Kant,** Immanuel (1724–1804), the most celebrated German philosopher of the 18th century. His views on astronomy in which he anticipated Laplace were published under the title, *Allgemeine Naturgeschichte des Himmels*, in 1755. He is best known for his *Kritik der reinen Vernunft* ("Critique of pure reason") and for his famous principle, *the categorical imperative*, in which he summed up his belief in the imperative nature of duty.

Page 80. — 1. **Newton,** Sir Isaac (1642–1727), the father of modern mathematics, the inventor of differential calculus and discoverer of the laws of gravitation, of the refraction of light and of colors.

2. **Daguerre,** Louis (1789–1851) a French painter, the inventor of the daguerreotypes named after him, the first photographs ever made.

Page 81. — 1. **mattgeschliffene Glastafel,** *ground glass plate.*

2. **die bearbeitete Silberplatte,** *the prepared silver plate.* Daguerre used silver plates coated with silver iodide which after exposure to the light were first subjected to vapor of mercury and then fixed by sodium hyposulphite. The cost of the silver plates coupled with the necessity of using a new one for each picture made the process an expensive one.

Page 82. — 1. **Pupille,** *pupil* (Lat. *pupilla*), so called after the minute reflection which one sees of himself in the eyes of another. Hence the older English expression "to look *babies* in one's eyes." Cf. the numerous instances cited by the New Engl. Dict.

2. **Aristoteles,** *Aristotle* (384–322 B. C.) the most celebrated natural philosopher of antiquity, preceptor of Alexander the Great and founder of the Peripatetic School of Philosophy.

Page 83. — 1. **uhrglasförmig gewölbt,** *convex like a watch crystal.*

2. **durch die über sie hinsickernde Tränenfeuchtigkeit,** *by the lachrymal fluid trickling over it.*

3. **Augenspiegel,** *ophthalmoscope* (Grk. οφθαλμός eye σκοπεῖν

to view). In the simplest form of the instrument light is condensed into the eye by means of a concave mirror, through a small hole in the centre of which the observer examines the eye. (*Cent. Dict.*)

Page 85. — 1. was für ein Bewenden (*or Bewandtnis*) es habe *what may be the nature of.*

2. Augenflüssigkeiten, *the humors of the eye*, i. e. the aqueous and the vitreous humor, the former situated before, the latter behind the lens.

Page 89. — 1. Brücke, Ernst Wilhelm (1819–1892) professor of anatomy and physiology at various German universities. In 1847 he published an excellent treatise on the eye entitled, *Anatomische Beschreibung des Augapfels.*

Page 91. — 1. ich verdenke Ihnen diese Antwort nicht, lit., "I do not blame you for," etc.; trans., *I am not surprised at this answer.*

Page 93. — 1. Johannes Müller (1801–1858), the most important biologist of his time, became professor of physiology and comparative anatomy at Berlin in 1833. His investigations of the sense sensations and thei. relation to the mind were epoch-making. By his work, *Handbuch der Physiologie des Menschen*, he laid the foundations of modern physico-chemical physiology.

Page 95. — 1. Weit gefehlt, "*wide of the mark.*"

Page 96. — 1. Lassen wir uns also verleiten, *if we allow ourselves therefore to be misled.*

2. frisch weg, *without hesitation.*

Page 97. — 1. billiger Weise ein Einsehen haben, *in justice be sensible enough.*

Page 98. — 1. die scheinbare räumliche Lage, *the apparent position in space.*

Page 99. — 1. unvollkommene Anschauung der Tiefendimension, *an imperfect idea of depth.*

2. Wheatstone, Sir Charles (1802–1875), mentioned here as the inventor of the stereoscope, was a celebrated English physicist who started life as a maker of musical instruments. This occupation led him to investigate the phenomena of sound, especially the propagation of sound waves through solid bodies. For a short time

he held a professorship of physics at King's College, London. He is also noted for his experiments in electricity and for his labors in connection with the first submarine cable.

Page 100. — 1. **zur Begutachtung darbieten,** *to present for judgment.*

2. **einen körperlich ausgedehnten Gegenstand,** *an object with corporeal extension.*

Page 102. — 1. **Moser,** Ludwig (1805–1880), was from 1832 until his death professor of physics at the University of Königsberg. In 1844 he published in Dove's, *Repertorium der Physik*, vol. v, p. 384, seq. a long article upon the theory of vision in which he describes in detail the preparation of stereoscopic views.

Page 106. — 1. **von ihnen abstrahiren,** *disregard them.*

2. **der blinde Fleck,** *the blind spot,* the point in the retina where the optic nerve enters the eye.

3. **die Stelle des directen Sehens,** *the point of direct vision,* also called the *fovea centralis* (central pit) or *yellow spot,* a small yellowish depression in the centre of the retina, where vision is most acute.

Page 111. — 1. **belegen . . . mit einem Namen,** *to give a name to.*

2. **zu oft . . . als dass,** trans., *so often . . . that we* (omitting the negative).

3. **nicht im Entferntesten,** *not in the least.*

Page 112. — 1. **Anhänger des tierischen Magnetismus,** *believers in animal magnetism,* the alleged power to cure diseases by means of a peculiar power flowing from one person to another.

2. **der sinnlichen Anschauung,** *the sense perception,* dat. with **entsprechen.**

Page 113. — 1. **die Reihe der unwillkürlichen Ideenverbindungen,** *the class* (lit. "series") *of involuntary* (or *automatic*) *association of ideas.*

2. **N.,** the Germans use the letter N. or N.N. (abbreviation of Lat. *nomen nescio,* I do not know the name) to designate any one whose name one does not know or does not wish to give. Compare our use of the letters A and B.

3. **eine danach eingerichtete Handlungsweise erwarten,** *lit.*, "expect a method of acting arranged according to this," trans., *expect him to act accordingly.*

Page 115. — 1. **die lebendige Anschauung,** *the living picture.*

Page 116. — 1. **in der Raumkonstruktion unserer Augen,** *with which our eyes construct* (i. e. *form a mental picture of*) *space.*

2. **Mit welcher . . . Genauigkeit,** *with what an exactness surpassing that of the most ingenious machines.*

Page 117. — 1. **Kant,** see page 79, note 1.

Page 118. — 1. **Man hat ihn dafür ausgeben wollen,** *lit.*, "one has wished to give it out for that," trans., *it has been claimed to be such.*

2. **notwendige Wirkungen ausreichender Ursachen,** *necessary effects of sufficient causes.*

Page 119. — 1. **gewisse neuere Systeme;** this refers to the philosophical system of *Hegel* (1770–1831) and *Schelling* (1775–1854) who, disregarding the evidence adduced by science, denied the existence of the thing *per se* (das Ding an sich) and sought to construct the world by the processes of thought.

2. **Dann lehret . . . Tag,** passage in *Faust,* from which poem Helmholz is fond of quoting. Goethe who as a student in Leipzig conceived a hatred of the processes of formal logic, has Mephistopheles in his talk with the young student, ridicule with these words the process of reasoning in syllogisms with their major and minor premises and conclusion, i. e., one! two! three!

Page 120. — 1. **in neuester Zeit,** *the lecture was originally delivered in 1855.*

2. **es handelt sich um,** *it is a question of.*

3. **welche sich daran anschliessen,** lit., "which join on to"; trans., *which are related.*

Page 121. — **Vaucanson's Ente.** Jacques de Vaucanson (1709–1782), a French mechanician, constructed several famous automata, among others a flute player, and one which played at the same time both tambourine and flute, also two ducks that waded in water,

found and swallowed kernels of grain, which were then digested in the stomach and passed into the intestines.

2. des älteren und . . . des jüngeren Droz. *The elder Droz,* Pierre Jacquet (1721–1790), was a French mechanician and watchmaker who invented chimes in clocks and also made a writing automaton. His son Henri Louis, *the younger Droz,* (1752–1781) made an automaton in the form of a piano-playing girl.

3. **nach beendeter Kunstleistung,** *at the conclusion of the performance.*

4. **Stein der Weisen,** *philosophers' stone,* an imaginary substance which the alchemists sought in the hope of transmuting base metals into gold.

Page 122. — 1. **niemand zog sie auf oder stiess sie an,** *no one wound them up or started them with a push.*

2. **wusste man sich nicht zurecht zu legen,** *one was not able to explain.*

3. **der . . . nachgegangen sind,** see page 41, note 1.

Page 123. — 1. **grüblerische Köpfe gefangen zu nehmen,** *to captivate speculative minds.*

2. **so kam die Sache in Verruf,** *the matter fell into disrepute.*

Page 124. — 1. **mathematisch-mechanischer Begriffe,** see page 142, note 2.

3. **von wo sich eine lohnendere Aussicht eröffnen wird,** *where a more pleasing* (lit., "remunerative") *prospect will open.*

Page 125. — 1. **die funkensprühende Esse,** *the spark-emitting forge.*

2. **die schwarzen Cyclopengestalten,** *the sooty Cyclops;* according to Greek mythology the Cyclops forged the thunder-bolts for Jupiter.

Page 127. — 1. **durch zwischengeschobene gezahnte Räder, unendliche Schrauben, Rollen und Seile,** *by means of intermediate cog-wheels, endless screws* (an arrangement in which a screw gears into a cog-wheel), *pulleys and ropes.*

Page 128. — 1. **befindlich ist = sich befindet.**

Page 130. — 1. **ein Gewisses an,** *a certain amount of.*

Page 131. — 1. **als da sind,** *such as; namely; for example.*

Page 134. — 1. **Webermeisterstück,** *weaver's master-piece,* a quotation from Faust descriptive of the processes of thought in contradistinction to the one, two, three (cf. page 119, note 2) of formal logic. In Bayard Taylor's translation: —

> "Where a thousand threads one treadle throws,
> Where fly the shuttles hither and thither,
> Unseen the threads are knit together
> And an infinite combination grows."

Page 135. — 1. **Es kam nur darauf an,** *it was only necessary.*

Page 136. — 1. **Sadi Carnot** (1796–1832), celebrated French physicist, who in his work *Réflexions sur la puissance motrice de feu et sur les machines propres à developper cette puissance* (1824), showed that the work accomplished by a steam engine was proportional to the amount of heat generated in the boiler and thus laid the foundation for the mechanical theory of heat.

2. **Julius Robert Mayer** (1814–1878). In his article, *Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur* (Liebig's Annalen, vol. 42), he stated clearly the principle of the conservation of energy and calculated the mechanical equivalent of heat. — **Heilbronn,** a picturesque town of Würtemberg situated on the Neckar.

3. **Colding,** Ludwig August (1815–1888), Danish physicist, city engineer of Copenhagen and professor at the polytechnic school. He is considered one of the founders of the mechanical theory of heat.

4. **Joule,** James Prescott (1818–1889), well-known English physicist. By his electrical experiments he showed that in electrolysis the amount of heat absorbed was equivalent to the heat produced. In 1847 he stated the doctrine of the conservation of energy in an address at Manchester.

5. **zu deren Bearbeitungen der zeitliche Entwickelungsgang der Wissenschaft hindrängt,** *to the treatment of which the development of science at that time points.*

Page 137. — 1. **Über die Erhaltung der Kraft,** *On the Conservation of Energy.* This paper read July 23rd., 1847 before the Physical Society of Berlin was epoch-making and placed Helmholtz in the ranks of the discoverers of the now generally recognized law.

2. **allen gemeinsames,** *common to all.*

Page 138. — 1. **ein feiner unwägbarer Stoff,** *a subtle imponderable substance,* to which the name *caloric* was given and which was supposed to be absorbed and given off by bodies.

Page 139. — 1. **vor sich gegangen,** *has taken place.*
2. 4½ **Meilen,** 4½ *German miles* = about 20 English miles.

Page 140. — 1. **William Thomson,** see page 25, note 4.

Page 141. — 1. **Clausius,** see page 25, note 2.
2. **in dem Sinne abgeändert,** *altered in such a way.*

Page 142. — **wenn das Weltall . . . überlassen wird,** *if the universe be given over to the undisturbed development of its physical processes.*

2. **von mathematischen-mechanischen Begriffsentwickelungen,** (*devoted to*) *mathematico-mechanical reasoning* (lit., "development of conceptions.")

Page 144. — 1. **die Ebenen ihrer Bahnen,** *the planes of their orbits.*

2. **dieser Stadt,** i. e. Königsberg in East Prussia, where Kant was born and at the university of which he was professor of metaphysics.

3. **Kant,** see page 79, note 1. — **Newton,** see page 80, note 1.

5. **Laplace,** Pierre Simon (1749–1827), one of the greatest mathematicians and astronomers the world has known. In his *Celestial Mechanics,* mentioned in the text, he treated of all the problems concerning the movement of the planets and solved most of them.

Page 145. — 1. **Zodiakallicht,** *Zodiacal light,* a faint cone of light in the sky lying nearly in the path of the sun with its base on the horizon, seen at certain times of the year just before sunrise or after sunset. Its origin is not absolutely known, although it is thought to be due to a ring of meteoric matter revolving around the sun.

Page 147. — 1. **hat man dem Rechnung getragen,** *one calculated* or *took into account.*

2. **Schliessen wir uns also der Voraussetzung an,** *If we therefore adopt the hypothesis.*

Page 148. — 1. **Celsius,** *centigrade,* named after its inventor

Anders Celsius (1701–1744) a Swedish astronomer, who in a treatise on the measurement of heat (1742) proposed the centigrade scale.

2. 2000 Grad, *2000° C* = 3632° F.

3. **in feurigem Flusse,** *in a molten state.*

4. **die abgeplattete Kugelform,** *the oblate spheroid.*

Page 150. — 1. 1000 Grad, *1000° C.* = 1832° F.

2. 4 bis 6 **Meilen,** 18 to 28 Engl. miles.

3. **Dafür verbleibt . . . Luftmasse,** *to compensate this, however, the most considerable portion of the heat generated is absorbed by* (lit., "*remains with*") *the condensed mass of air.*

Page 151. — 1. **feurig flüssigen Zustandes,** see page 148, note 3.

2. **das krystallinische Erstarren,** *the crystallization.*

3. 10 **Meilen,** between 40 and 50 English miles.

Page 152. — 1. $\frac{1}{80}$ **Grad,** $\frac{1}{80}$ *of a degree centigrade* = $\frac{3}{80}$ of a degree Fahrenheit.

Page 153. — 1. **das Seinige,** *its part.*

Page 154. — 1. **dieser äquivalente Arbeit,** *work equivalent to this.*

2. **der durch . . . entspricht,** *corresponds to that* (*to be*) *produced by the chemical processes,* see page 68, note 4.

3. **Liebig,** Justus von (1803–1873), one of the greatest of German chemists whose investigations in the domain of organic and agricultural chemistry were epoch-making. He distinguished two kinds of nutritive substances, (1) the albuminoids, serving principally to generate blood, (2) those used for the generation of heat in the body. His investigations on the composition of muscular tissues have been practically utilized in the manufacture of the beef extract bearing his name.

Page 158. — 1. **proteusartig,** *Proteus-like.* According to Homer *Proteus* was a sea-god who had the power of assuming different shapes and thus escaping his pursuers.

Page 159. — 1. **Bessel,** Friedrich Wilhelm (1784–1846), a German astronomer, whose researches contributed largely to the development of mathematical astronomy. No other astronomer, it is said,

combined in the same degree the gift of accurate observation with a complete mastery of theory.

2. **Robert Mayer,** see page 136 note 2.

3. **Laplace,** see page 144, note 5.

Page 160. — 1. **dem Enckeschen Kometen,** *the Comet of Encke* Johann Franz Encke (1791–1865), German astronomer and director of the observatories first of Gotha, then of Berlin. He is most famous for his determination of the orbit of the comet discovered Nov. 26, 1818 which bears his name. His observations showed that the period of the comet was only 3½ years and that at each return it was diminished by $\frac{1}{9}$ of a day.

Page 161. — 1. **Hansen,** Peter Andreas (1795–1874), celebrated German astronomer and director of the observatory at Gotha. He is best known for his theory of the disturbances in the movements of the planets, comets and moon, for the calculation of which he invented new methods. **Adams,** John Couch (1819–1892), one time professor of astronomy at Cambridge England. He is famous for having independently with the French astronomer Le Verrier, predicted the existence of the planet Neptune, from unexplained irregularities in the motion of Uranus. His investigations on the movements of the moon, which appeared in 1852–3, produced a revolution in this department of theoretical astronomy. **Delaunay,** Charles Eugene (1816–1872), French mathematician and astronomer. His chief work is his *Théorie de la lune* (1860–67), unfinished). He ascribed a slight deviation in the mean movement of the moon to the friction exerted by the tides upon the earth.

2. **Hipparch,** *Hipparchus* (flourished between 161–126 B. C.), the founder of scientific astronomy and of trigonometry. He computed the length of the sidereal year to be 365 days, 5 hours and 55 minutes.

3. **William Thomson,** see page 25, note 4.

4. **vorausgeeilt,** see page 70, note 1.

5. **feurig flussig,** see page 148, note 3.

Page 162. — 1. **Pouillet,** Claude (1790–1868) director of the *Conservatoire des Arts et Métiers* in Paris till 1851. He investigated principally the theories of optics, heat and electricity.

2. **3½ Meilen,** approximately 16 English miles.

3. **1, 96 Grad C.,** about $3\frac{3}{8}$ ° F.

Page 163. — **der den auf der Erde bekannten analog ist,** *analogous to those known on the earth.*

Page 164. — 1. **Ein wendisches Tongefäss,** *a piece of Wendic pottery.* The Germans originally applied the name *Wends* to all the Slavic peoples who at one time occupied a large part of Northern Germany, and in this sense it is used in the text. It is now confined to those located in Lusatia and also called *Sorbs.*

Page 165. — 1. **der Bernsteinbaum,** *the amber tree* (*Pinies succinifer*) supposed to belong to the orders of conifers, amber being the exuded gum. The reference is here to the amber forest of Samland in East Prussia.

2. **Rieseneidechsen,** *gigantic lizards,* such as the iguanadon, ichthyosaurus and plesiosaurus.

3. **Bischof,** Karl Gustav (1792–1870), German geologist and chemist. In his *Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie* (1847–1852) he first called attention to the part which chemical and mechanical forces play in the formation of mountains and thereby revolutionized geology.

Page 166. — 1. **der jüngste Tag,** *the last day; the day of judgment.*

Page 167. — 1. **Aber es hat . . . voraus,** *but it is superior to other forms of life now extinct in possessing higher ethical problems.*

VOCABULARY

A

Abfluss, flow, movement.
Ablagerung, deposition.
ablauschen, catch by listening.
abreibend, abrasive.
abrollen, round off.
Aderhaut, choroid membrane (*Grk.* χόριον, membrane).
Affektion, affection, modification.
Agens, *pl.*, **Agentien**, agent, medium.
Ägypten, Egypt.
Alpenkette, Alpine chain *or* range.
Ammoniak, ammonia.
anfügen, *refl.*, conform to.
angewandt, *see* anwenden.
Anhaltspunkt, stand point, premise, data.
annähern, approximate, *pres. ppl.*, approximately.
Annahme, assumption, theory.
Anschauung, intuition, immediate perception.
ansprechen, lay claim to, use.
anstehen, (1) hesitate, (2) lie, be arranged.
anstreichen, paint, coat.
Antillenmeer, Carribean Sea.
anwenden, apply, *past ppl.* angewandt, applied.
Arbeitsgrösse, (1) quantity of work, (2) capacity for work.
Arbeitskraft, work, energy.
Auffassung, apprehension.
aufgehen, coincide, be identical with.
aufheben, annull, arrest.
Aufschluss, information.
Augenbrauenrand, orbital ridge.
Augenhöhle, socket of the eye.
ausfransen, fringe, fray.
auslaufen, start, begin.
Äusserung, manifestation.
ausstreichen, paint, coat.
ausziehen, draw out, *p. p. as adj.*, continuous.
Axendrehung, rotation about an axis.

B

bändern, stripe, streak.
Bank, ledge.
bedingen, condition.
Beigabe, endowment, attribute.
Beiton, secondary tone.
Belgien, Belgium.
Berggehänge, mountain slope.

Bildung, structure.
Bodenplatte, base plate.

D

Daumen, *lit.*, "thumb"; lifting-cog, tappet.
Duodecime, duodecimo, interval of a twelfth.
Durakkord, major chord.
durchgängig, penetrable.
durchrieseln, trickle through, traverse.
durchziehen, traverse.

E

einschalten, insert; *p. p. as adj.*, lying between.
einstellen, focus.
Einstellung, focus, focussing.
Eintrittszeit, *lit.*, "time of entrance," date.
Eiweiss, white of an egg, albumen.
eiweissartig, albuminous.
Empfindung, sensation.
Endmoräne, terminal moraine (see page 8, note 2).
Erdumlauf, revolution of the earth.
Erfahrungssatz, law derived from experience, empirical law.
Erhaltung der Kraft, conservation of energy.
Erkennen, the acquiring of knowledge.
Erscheinung, phenomenon.
Erscheinungsweise, manifestation.
Erwärmungsvermögen, heating-power.

F

Fagott, bassoon, a musical instrument forming the natural base to the clarinet.
Feuerkugel, fiery meteor, bolis (*Grk.*, βολίς, *missile*).
Firnmasse, **Firnmeer,** **Firnschnee,** } see page 7, note 2.
fixieren, regard fixedly.
folgerichtig, logical, consistent.
Folgerichtigkeit, logic, reasoning.
Fortschritte, progressions, movements (consecutive intervals or chords).
Fressen, corrosion, *cf. Engl.*, "fret,"
fünfgestrichen, five-accented *or* marked.

G

Gang, canal.
Gebirgsart, species of stone, rock.
Gebirgswall, mountain rampart.
Gedankenreihe, train of thought.
Gedankenwerk, product of thought.
gedenken, mention; *p. p. as adj.*, above mentioned.
Gehörgang, auditory meatus *or* canal.
Genfer, *adj.*, of Geneva.
Generalbass, thorough bass, the art of harmonic composition.
Gesichtseindruck, visual impression.

Gesichtserscheinung, visual phenomenon.
Gesichtstäuschung, optical illusion.
gleichsinnig, possessing the same rate of vibration, synchronous.
Grönland, Greenland.
Grösse, quantity.
Grundgesetz, fundamental law.
Gufferlinie, see page 8, note 3.

H

Haufwerk, aggregate, mass.
Heros, *pl.* **Heroen**, demi-god.
Herzweh, agony; **Herzweh bereiten**, excruciate.
hinstellen, state, represent.
Hochgebirg, mountain range over 2,500 metres (8,200 ft.) in height.
Höcker, knob, protuberance.
Hohlraum, interstice.
Hörnerv, auditory nerve.
Hornhaut, cornea (*fem. of Lat.* corneus, horny.)

I

Ideenverbindung, association of ideas.
Island, Iceland.

J

Jahresring, (annual) ring, (*generally of trees*).
Jongleur, juggler, acrobat (O. F. *jongleur*.)

K

Kalkspat, calc-spar, calcite.
Kehlkopf, head of the windpipe, larynx.
Klangfarbe, tone color, timbre, quality.
Knotenpunkt, point of juncture, node (*Lat.*, nodus, a knot.)
Kohlensäure, carbonic acid.
kohlensaurer Kalk, calcium carbonate.
Kohlenstoff, carbon.
Kolben, breach, chamber.
Kombinationston, combinational tone.
konsequent, consistent, logical.
Konsequenz, logic, coherence.
Konsonanz, harmony, concord.
konsonirend, concording, harmonic.
kontinuierlich, continuous.
Kontra-C, contra (bass) C *or* CC.
körnig, granular.
kosmisch, cosmic (*Grk.*, κόσμος, the universe.
Kraftaufwand, expenditure of energy.
Kraftgrösse, unit of energy.
Kraftleistung, feat of strength.
Kraftquelle, source of energy.
Kreisscheibe, circular disc.
Krystallinse, crystalline lens.
Kugelspiel, juggling.
Kulturgeschichte, culture history, history of civilization.

L

Lage, (1) layer, (2) register.
Lagerungsstätte, place of deposition, resting place.

Längsrichtung, longitudinal direction.
laugenhaft, alkaline.
Lawine, avalanche (*M. Lat.* labina, from *Lat.* labi, to fall.)
Lawinensturz, snowslide, avalanche.
lebendige Kraft, *lit.*, "living force," *vis viva*, kinetic energy (*Grk.* κινητικός *from* κινεῖν to move.)
Lichtäther, luminiferous ether.
Lichtbild, photograph.
Lichtempfindung, light sensation.
Lichtreflex, reflection of light.
Lichtschwingung, light wave.
Lichtstaub, luminous dust.
linsenformig, lense-shaped, lenticular.
Löss, alluvial deposit of marly or sandy loam in the Rhine valley.
luftartig, gaseous.

M

Mächtigkeit, thickness.
Matte, meadow, *especially* Alpine meadow.
Metallzunge, metal tongue *or* reed.
Mitgeschöpf, fellow creature.
Mitschwingung, sympathetic vibration.
Mittel, medium, *pl.* media.
Mittelglieder, intermediate steps.
Mittelmeer, Mediterranean Sea.
Mittelmoräne, medial moraine (see page 8, note 3).
Mittönen, sympathetic vibration.
Mixtur, mixture stop, compound stop, (having two or more pipes to each key).
Moment, factor, moment.
Moränendamm, embankment formed by a moraine.
Motiv, *motif*, musical theme.
muldenartig, trough *or* bowl-shaped.
Muskelzuckung, muscular twitching.

N

Naturganze, das, nature in general, universe.
Naturnotwendigkeit, absolute *or* physical necessity.
Naturwahrheit, fidelity to nature.
nebelartig, nebulous.
Nebelfleck, nebulous patch, nebula.
Nervenfaser, nerve fibre.
Nervenfluidum, nerve fluid.
Nervenhaut, } retina.
Netzhaut, } retina.
Neufundland, Newfoundland.
Neuseeland, New Zealand.
Ninive, Niniveh.
Niveau, level.
Norwegen, Norway.
Null Grad, zero.

O

Oberton, over-tone, partial.

P

Passatwind, trade-wind.
Pendelschwingung, pendulum-like oscillation.

Perpetuum mobile, perpetual motion machine.
Pflanzennährstoff, plant food.
Phänomen, phenomenon.
Pikkoloflöte, piccolo *or* octave flute (*an octave higher than the ordinary flute*).
Plättchen, little plates, lamina, rods.
Platin, platinum.
prinzipiell, fundamental.
punktiren, dot.

Q

querlaufend, transverse.
Quinte, a fifth, quint.

R

Raum, space.
Raumverhältnisse, spatial relations.
reflektiren, take notice of.
Reissen, twanging.
Reiz, } stumulus *pl.*
Reizmittel, } stimuli.
Reizung, excitation, stimulus.
Resonanzboden, resonance chamber, sounding-board.
Resonanzröhre, resonance tube *or* pipe.
Rohrzunge, wooden tongue *or* reed.

S

saftig, rich.
sättigen, *refl.* to feast; *p. p. as adj.* saturated, pure (said of colors unmixed with white).
Satz, principle, law.
Sauerstoff, oxygen.
Sauerstoffgebläse, oxygen blowpipe.
savoyisch, *adj.*, of Savoy.
Schall, sound.
Schallempfindung, sound sensation.
Schattengebung, disposition of shadows, shading.
Schätzung, estimate.
Scheinbewegung, apparent motion.
Schenkel, arm (*of a cross*).
schillernd, iridescent.
Schlussfolgerung, inference, deduction.
Schmutzband, dirt band.
Schnecke, cochlea (*Lat.* cochlea, snail shell).
Schneegrenze, snow line.
schottisch, Scotch.
Schwebung, beating, beat.
Schweif, wake, track (*of a ship*).
Schweiz, Switzerland.
Schwere, weight, gravity.
Schwerkraft, force of gravity.
Schwingungszahl, number of vibrations.
Schwirren, whirring, vibration.
Schwungkraft, centrifugal force.
sechstrahlig, six-rayed, hexiradiate.
Sehnenhaut, sclerotic coat.
Sehnerv, optic nerve.
Seitenmoräne, lateral moraine, (see page 8, note 2.

Sinneseindruck, sense impression.
Sinnesenergie, sense energy.
Sinnesnerv, sensory nerve.
Sinnesorgan, sensory organ.
Sinneswahrnehmung, sense perception.
Sinneswerkzeug, *see* Sinnesorgan.
sinnlich, pertaining to the senses.
sinnliche Anschauung, sense perception.
sinnlicher Eindruck, *see* Sinneseindruck.
sinnliche Vorstellung, mental picture, concept.
Spaltraum, interstitial space, interstice.
Spiegelebene, plane of the mirror.
Spitzfindigkeit, subtlety, quibble.
Stärkemehl, starch flour, starch.
Steigerung, strengthening, intensification.
Steinblock, boulder.
Stempel, plunger, piston.
Sterntag, sidereal day (*Lat.* sidus, sideris, a constellation.)
Stickstoff, nitrogen, *lit.*, "suffocating matter."
Stimmband, vocal cord.
Stimmklang, timbre *or* quality of the voice.
Stimmung, tone, *lit.* "tuning."
Stoss, (1) impulse, beat, (2) stroke (*of a billiard player*), (3) blow.
stossen, swoop, dart.
strahlig, radiated.
strömend, current.

T

taktmässig, at regular intervals, periodically.
Takteil, part a of a bar *or* measure.
Talkessel, deep circular valley, valley-basin.
Tapetum, tapetum (lucidum) [*M. Lat.* tapetum, carpet], a bright colored, light-refracting membrane between the retina and the sclerotic coat of the eye.
Tastempfindung, sensation of touch.
Temperaturabnahme, decrease in temperature.
Terz, a third; **eine grosse Terz,** major third.
Theodolit, theodolite, an instrument used in surveying for measuring horizontal angles.
Thermometerskala, thermometric scale.
Tonbrei, clay pulp.
Tonempfindung, tone *or* musical sensation.
Trabant, satellite.
Treibeis, floating ice, drift ice.
Trennungsfläche, (1) cleavage surface, (2) separating *or* refractive surface.
Triebkraft, motive power, driving force.
trostlos, cheerless.
Trübung, cloudiness, turbidity, fogging.
Tummelplatz, arena, *rendez-vous.*

U

umgekehrt, (1) conversely, (2) reversed.
Umkehr, reversal.
Umkneten, re-kneading, re-pressing.
unförmlich, immense, huge.
Ungleichförmigkeit, inequality.
unverrückt, fixed, stationary.
Urnebel, original nebulous mass.
urweltlich, primeval.

V

Verbreitungsgrenze, geographical distribution.
verfliessen, coalesce, merge into.
Verknüpfung, association.
verkürzen, fore-shorten.
verlegen, transfer.
Vernunftmässigkeit, (1) correspondence *or* harmony with reason, (2) intelligence.
Verrichtung, (1) function, (2) performance.
Versuchsreihe, series of experiments.
Verwandtschaft, affinity.
Verwandtschaftskraft, force of affinity.
verwaschen, *p. p.* hazy, confused.
Verwitterung, weathering, disintegration.
vieleckig, polygonal, polyhedral.
vorausgesetzt, provided.
Vorstellung, mental picture, conception, idea.
Vorstellungsvermögen, conceptive faculty.
Vorstellungsweise, conception.

W

Wahrnehmung, perception.
Wärmeleitungsfähigkeit, heat conductivity.
Wärmestrahl, ray of heat.
Wasserstoff, hydrogen.
Wasserwerk, water motor.
Wechselwirkung, interaction.
Weinbergschnecke, garden snail (*Helix pomatia.*)
Welle, axle, shaft.
Wellenberg, wave crest.
Wellental, trough *or* hollow of waves.
Wellenzug, group *or* train of waves.
Weltall,
Weltganze, das, } the universe.
Weltgebäude,
Weltenraum, universal space.
willkürlich, at will.
Windbüchse, air-gun.
Winkelgrad, (angular) degree.
wirkungsfähige Kraft, effective *or* kinetic energy.
Wirkungsform, form of energy.
Wüste, das, the chaotic.

Z

zähflüssig viscous.
Zirkelweg, return path, a way back.
Zoll, tribute.
zuleiten, add, introduce.
zusammenklingen, harmonize.